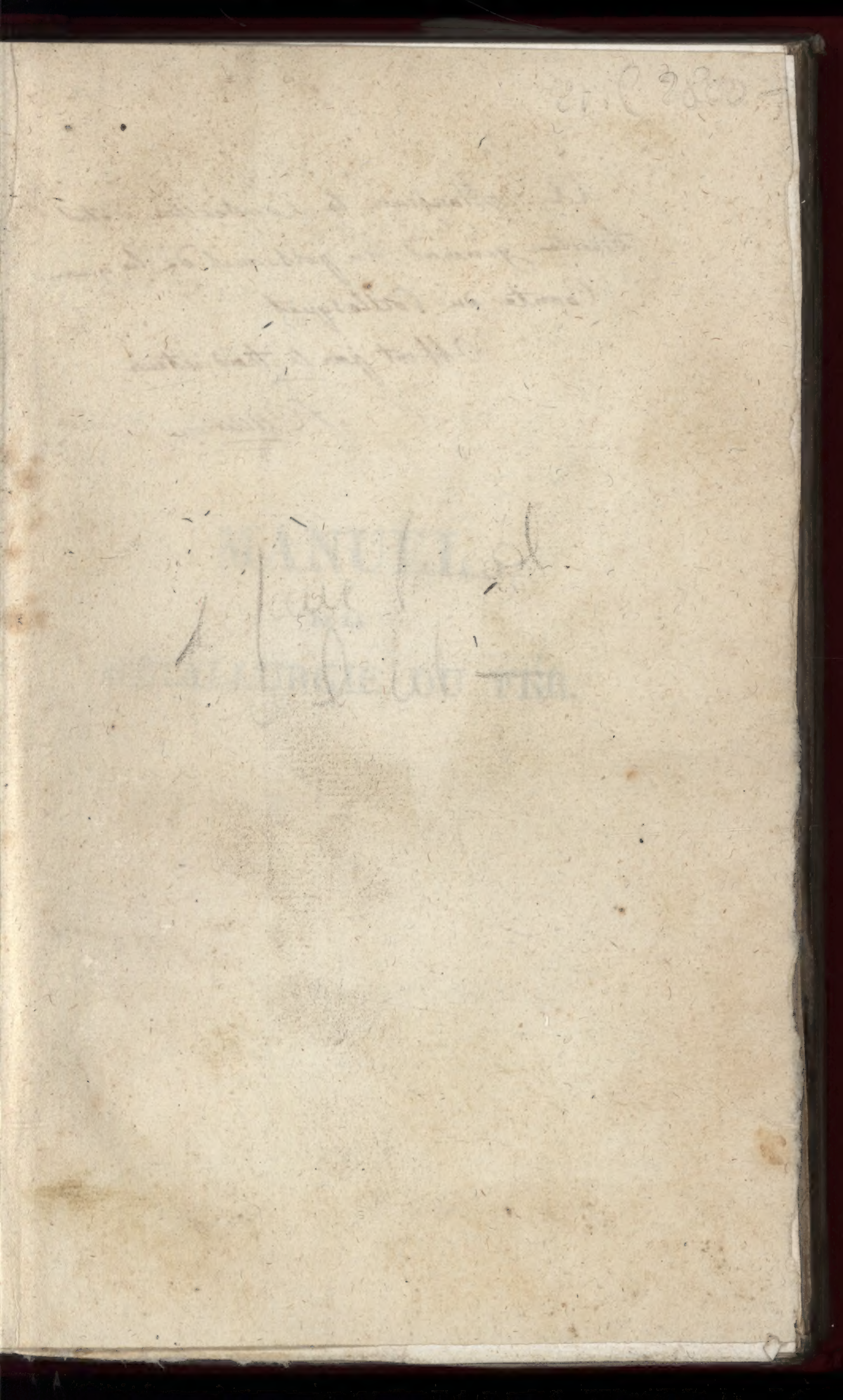




A Monsieur le Conseiller d'état
Directeur général du personnel de la guerre
Comte du Coëtlosquet

Offert par le traducteur

F. [illegible]

MANUEL

DE LA

MÉTALLURGIE DU FER.

Les exemplaires exigés par la loi ont été déposés.

PARIS,

Bachelier, libraire, quai des Augustins, n°. 55;
Lecointe et Durey, quai des Augustins, n°. 49.

PARIS ET STRASBOURG,

Treuttel et Wurtz;
Levrault.

PARIS ET LONDRES,

Bossange frères.

METZ,

Le traducteur, rue de la Paix, n°. 1;
La Ve. Thiel, libraire de l'Ecole royale d'application de l'Artillerie et du Génie;
Devilly;
Husson frères.

METZ, DE L'IMPRIMERIE DE C. LAMORT.

MANUEL

DE LA

MÉTALLURGIE DU FER,

PAR

C. J. B. KARSTEN,

CONSEILLER SUPÉRIEUR DES MINES DE PRUSSE, DIRECTEUR DES USINES ROYALES DE LA SILÉSIE, CHEVALIER DE LA CROIX DE FER ET MEMBRE DE PLUSIEURS SOCIÉTÉS SAVANTES ;

TRADUIT DE L'ALLEMAND

PAR

F. J. CULMANN,

CAPITAINE D'ARTILLERIE ATTACHÉ AUX FORGES DE LA MOSELLE, CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR ET MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ DES LETTRES, SCIENCES ET ARTS DE METZ.

TOME PREMIER.

PARIS,

ANSELIN ET POCHARD, LIBRAIRES, SUCCESSEURS DE MAGIMEL, RUE DAUPHINE, N°. 9.

1824.

PRÉFACE
DE L'AUTEUR.

CET ouvrage est le fruit de douze années d'observations et d'essais que j'ai faits dans les usines, en vertu de mon emploi. Je n'aurais osé les rassembler en un système complet, si l'obligation d'enseigner l'art des forges à l'université de Breslaw, ne m'y avait déterminé, pour ainsi dire, malgré moi. Ceux qui connaissent les écrits sur le travail du fer ne seront pas surpris que dans mes cours, j'aie été forcé de me frayer une route toute nouvelle. En publiant mon manuel, je ne suis pas dans la position de beaucoup d'auteurs qui s'excusent d'augmenter le nombre des livres élémentaires; loin de-là, je dois former le vœu d'être bientôt suivi dans la carrière que je viens d'ouvrir, par un successeur qui, riche de nouvelles expériences, puisse corriger les erreurs et remplir les lacunes, afin que la théorie sur l'art des forges puisse s'établir dans toutes ses conséquences.

Il serait inutile de présenter une explication détaillée du plan que j'ai suivi : la table des matières le fait connaître. Je ne voulais tracer d'abord, pour

mes auditeurs, qu'une esquisse du système qui devait servir de base à mes leçons; mais en travaillant, je résolus de faire un traité complet, qui n'eût besoin d'aucune explication orale, persuadé que je répandrais plus de lumières sur la pratique de la métallurgie du fer; c'est ce qui a donné un si grand développement à ce manuel, et l'a fait paraître en deux volumes : le premier peut être regardé comme préparatoire, le deuxième s'occupe des moyens d'exécution.

J'espère qu'on ne méconnaîtra pas l'empreinte d'originalité qui caractérise cet écrit ni la nouveauté de mes idées. J'ai toujours été obligé de m'appuyer sur mes expériences et de suivre mes opinions, sans pouvoir profiter de celles des autres, quoique, dans un petit nombre de cas, j'aie trouvé des prédécesseurs expérimentés, tels que Garney pour ce qui regarde la construction et le travail des hauts fourneaux. J'ai considéré comme appartenant à l'art des forges, la deuxième division de la seconde section relative aux combustibles et la troisième section concernant les machines soufflantes : l'une et l'autre sont du ressort de la métallurgie en général; mais j'espère ne point encourir le blâme des praticiens, ils me sauront bon gré d'avoir traité ces parties avec toute l'attention qu'elles méritent.

La première section fera connaître le fer dans ses différens états, par ses propriétés physiques et chi-

miques : j'ose espérer qu'elle rectifiera les erreurs que la théorie du jour n'a que trop enracinées. Pour les détruire, je me suis étendu au-delà des bornes prescrites par le plan de l'ouvrage. Quant à la partie pratique, elle est entièrement neuve ; on en sera convaincu sans peine, en la comparant à tout ce qui a paru sur cette matière.

Ne pouvant profiter des lumières d'auteurs plus anciens, je dois craindre que mes vues ne paraissent quelquefois exclusives et même erronnées. Je recevrai donc volontiers les renseignemens qui pourront contribuer à perfectionner le manuel du sidérurgiste ; j'éprouverai une vive reconnaissance pour ceux qui voudront bien me donner des avis, soit par la voie publique, soit par des correspondances privées, pour corriger, développer, éclaircir plusieurs articles de l'art des forges restés encore dans l'obscurité.

Les progrès que la fabrication du fer a faits en Silésie, par la sagesse et l'activité sans exemple de M. le comte de Reden, ministre d'état, sont appréciés de toute l'Allemagne, quoique les inventions de son génie ne soient jamais parvenues, par ses propres écrits, à la connaissance du public. C'est ainsi que se perpétue de soi-même et sans panégyriste le vrai mérite, la véritable grandeur. La mémoire de M. de Reden est sacrée pour l'état et sur-tout pour la province de Silésie, à laquelle il a voué la plus belle

partie de sa vie; elle est sacrée pour moi qui étais honoré de sa confiance; j'ai participé pendant ses dernières années à l'exécution de ses projets. Il ne lui fut point donné de voir prospérer toutes les améliorations que la justesse de son coup d'œil sur l'art des forges avait préparées pour l'avenir. Mais si sa mémoire parmi nous est impérissable, que son esprit, que cet esprit d'union, de zèle, d'activité, d'infatigable persévérance reste aussi parmi nous à jamais! Que le ciel bénisse les efforts de ses successeurs qui marchent sur ses traces! puissent-ils atteindre le but qu'il s'est proposé, celui du bonheur et de la prospérité de l'état.

Breslaw, le 1er. mars 1816.

C. J. B. KARSTEN.

OBSERVATIONS

DU TRADUCTEUR

SUR LA THÉORIE ACTUELLE.

Les théories des sciences physiques, quoique toujours conjecturales, sont généralement utiles et nécessaires; elles soulagent la mémoire, parce qu'elles rassemblent sous une même loi un grand nombre de faits isolés qui, d'anneau en anneau, se trouvent attachés à la même chaîne, bien qu'ils paraissent au premier coup d'œil très-disparates; elles viennent au secours du jugement, parce qu'elles rapprochent les phénomènes qui ont entr'eux de l'analogie, qu'elles facilitent les découvertes, qu'elles tracent, pour ainsi dire, la marche qu'on doit suivre dans les recherches, et, en un mot, parce qu'elles réduisent l'établissement de nouvelles vérités à l'art d'intercaler les termes intermédiaires d'une série. Peu importe alors qu'elles soient vraies ou fausses, pourvu qu'elles se trouvent en harmonie avec les connaissances acquises. La chimie fut tirée de son néant par le système de Stahl que nous regardons à présent comme absurde, mais qui néanmoins conduisit aux plus belles découvertes. C'est sous l'empire de la loi du phlogistique, que l'on reconnut déjà les propriétés principales des sels, ainsi que les conditions de la dissolution des métaux dans

les acides, et qu'on établit, pour la première fois, les principes qui devaient servir de base à la doctrine des proportions déterminées, dont l'application, simplifiant les analyses, contribue si efficacement aux progrès étonnans de la chimie moderne. C'est encore sous l'empire de la même loi, qu'on trouva la composition de l'eau, découverte qui porta le dernier coup à l'ancien système. Mais les théories hypothétiques ne peuvent être utiles, qu'en s'accordant avec les faits principaux de la science ou de l'art dont elles doivent réunir les lumières en un seul faisceau. Voyons jusqu'à quel point la théorie sur les différens états métalliques du fer, suivie jusqu'à présent, ainsi que celle de l'affinage de la fonte, qui en est une conséquence immédiate, peuvent satisfaire à cette condition.

Nous allons donc examiner les résultats des travaux de Vandermonde, Berthollet et Monge. En prononçant ces noms illustres, tout ancien élève de l'école polytechnique éprouve un sentiment d'admiration et de reconnaissance, sentiment que je crois partagé d'ailleurs par toutes les personnes qui se livrent à l'étude des sciences, et qui savent en apprécier le bienfait. Mais quel que soit le mérite de ces hommes célèbres, quels que soient leurs titres à notre admiration, nous ne devons pas oublier que dans leurs recherches nombreuses et profondes, ils ont pu commettre des erreurs, et que vouloir les perpétuer, ce serait rendre à ces amis de la vérité, un culte injurieux et idolâtre.

Les anciens métallurgistes s'accordaient tous à

regarder l'acier comme un produit intermédiaire entre le fer et le régule; quant aux deux espèces de fontes, leur opinion était très-variable.

Réaumur prétendait que le fer se trouvait combiné avec des soufres et des sels dans l'acier et dans la fonte, et que celle-ci contenait une plus grande quantité de ces substances que n'en renfermait celui-là. Il supposait en outre que le régule pouvait contenir accidentellement d'autres matières étrangères, et que la fonte blanche surpassait la grise sous le rapport de la pureté.

Bergman pensait que le fer, l'acier et la fonte contenaient du phlogistique et de la plombagine regardée comme un soufre, ou un composé d'air fixe et de phlogistique; que le fer contenait moins de plombagine et plus de phlogistique pur que l'acier; et que la même différence existait entre ce dernier et la fonte grise. Pour ce qui est de la blanche, il supposait qu'elle contenait moins du principe de la chaleur que la première.

Rinman regardait le fer comme un composé très-variable, dont une partie des élémens étaient caractéristiques, et dont les autres étaient accidentels. Parmi ceux-là, il mettait au premier rang la terre de fer considérée dans toute sa pureté, et le phlogistique dont il distinguait deux espèces différentes: un phlogistique grossier ou matériel, composé de plusieurs substances, susceptible de changer le fer en acier, sans pouvoir pénétrer le verre; et le phlogistique élémentaire qui traversait les substances vitrifiées, réduisait la chaux de fer et la rendait

attirable à l'aimant. « C'est donc, dit-il, un fluide » très-subtile qui est probablement électrique et cons- » titue la matière du feu »*. L'un et l'autre pouvaient se rencontrer dans le fer en différentes proportions. Le fer doux contenait plus de phlogistique élémentaire ; mais la fonte grise renfermait plus de plombagine ou de phlogistique impur et grossier ; tandis que la blanche en contenait moins. Enfin l'acier, parmi tous les fers, contenait la plus grande quantité de phlogistique**; de sorte que par la conversion de la fonte en acier ou en fer, le régule perdait une certaine quantité de phlogistique grossier, et en acquérait une autre de phlogistique élémentaire.

On voit du reste, à la lecture de ces anciens ouvrages, que leurs auteurs n'avaient que des idées vagues et confuses sur les différentes combinaisons de la chaux de fer avec le principe de la chaleur. Rinman qui hésite et varie dans son opinion, ajoute que la science n'est pas encore assez avancée pour qu'on puisse avoir sur la nature du fer, une opinion plus certaine et plus positive.

Telles étaient, en peu de mots, les connaissances théoriques qu'on avait sur les divers états métalliques du fer, quand on découvrit la décom-

---

* Le premier de ces phlogistiques est le carbone; le deuxième était le phlogistique que les anciens chimistes inventèrent pour expliquer le phénomène de la combustion. C'est, pour parler un langage algébrique appliqué à la chimie, l'oxigène précédé du signe —.

** Voyez la préface de l'histoire du fer, par Rinman, ainsi que les paragraphes 226, 227, 228 et 275.

position de l'eau; dès-lors tout fut changé. On reconnut que le gaz inflammable qui se dégageait de la dissolution du fer dans les acides, n'était point ce prétendu phlogistique qui s'échappait du fer, mais qu'il était dû à la présence de l'eau, dont il formait un des élémens. On se hâta donc de mettre à profit les lumières que l'on venait d'acquérir et de porter la réforme dans l'ancien système. Monge, Berthollet et Vandermonde se constituèrent les fondateurs de la nouvelle théorie et réalisèrent d'abord toutes les espérances que l'on devait concevoir de leurs talens; leur mémoire sur les différens états métalliques du fer, publié en 1786, fut accompagné en Allemagne comme en France d'une approbation générale. Tous les hommes instruits applaudirent à cette nouvelle manière d'envisager le fer dans ses différentes modifications. Les sociétés savantes des pays étrangers proposèrent, pour sujet de prix, une explication satisfaisante de l'affinage de la fonte, d'après le travail de Vandermonde, Berthollet et Monge; en un mot, leur opinion sur le fer, adoptée par tous les chimistes français et les métallurgistes allemands, était suivie sans aucune restriction. Cependant on ne peut nier que la théorie de l'affinage qui en a été déduite, ne se trouve en opposition avec les faits d'expériences les plus ordinaires et les plus importans; on ne tarda pas à s'en apercevoir, et l'on éprouva le besoin de modifier la nouvelle doctrine.

La fonte a été considérée par ces trois célèbres physiciens comme un régule dont la réduction n'é-

tant pas complète, retient une portion de l'oxigène du minérai, et qui, en contact immédiat avec le charbon, absorbe une certaine dose de ce combustible, dont l'affinité pour le métal ne laisse aucun doute; d'après cela, ce seraient les proportions de ces deux substances qui feraient varier la nature du fer cru, la fonte deviendrait blanche si elle contenait peu de charbon et beaucoup d'oxigène; elle serait grise dans le cas contraire. Ils pensaient que le fer parfaitement affiné serait celui qui ne contiendrait ni oxigène, ni charbon, ni aucune autre substance étrangère; que cependant il n'en existe point de cette espèce dans le commerce; que le meilleur fer de Suède conserve une partie d'oxigène, et s'imbibe toujours d'une dose de charbon, très-petite à la vérité, mais assez grande pour en altérer les propriétés.

Ils supposaient en outre que dans l'acier de cémentation, le fer est complétement réduit, qu'il ne renferme plus d'oxigène, qu'il doit contenir une certaine dose de charbon pour acquérir une qualité déterminée, et que cette dose surpasse presque toujours la quantité de carbone contenue dans la plupart des fontes blanches. Sous le rapport de la réduction, l'acier serait donc un métal à part, plus pur que le fer; et sous le rapport de la quantité de charbon qu'il contient, il n'aurait point de relation constante avec la fonte.

On sait que les auteurs de cette théorie ont constaté la combinaison du charbon ou de la plombagine avec le fer, et par l'analyse et par la syn-

thèse, ou, ce qui revient au même, par la dissolution du métal dans les acides, et par la cémentation du fer dans les matières charbonneuses ; ils croyaient, d'ailleurs, que la fonte blanche, qui ne laisse point de résidu noir, étant dissoute dans l'acide hydrochlorique, ou dans l'acide sulfurique étendu d'eau, ne contient presque pas de charbon.

Quant à la présence de l'oxigène dans le métal, ils pensaient qu'il serait difficile de concevoir que l'oxide de fer, qui ne peut se réduire qu'après être ramolli, ait le temps de perdre tout son oxigène avant d'être noyé dans le creuset. Cette considération, jointe au fait d'expérience, que les fontes dissoutes dans l'acide sulfurique étendu d'eau, donnent toujours un moindre volume d'hydrogène que n'en font dégager le fer ductile et l'acier, leur parut suffisante pour les autoriser à supposer que la réduction du fer cru était incomplète, d'autant plus que la fonte blanche donnait un moindre volume de gaz qu'on n'en obtenait avec la fonte grise : ce qui ne pouvait être expliqué par la présence du carbone, comme on le faisait pour l'acier, puisqu'il arrivait souvent que cette fonte leur semblait ne contenir presque point de matière charbonneuse.

Cela posé, voyons les conséquences immédiates qu'on a dû déduire et qui ont été déduites de ces principes appliqués à l'affinage de la fonte pour acier et pour fer, dans les feux de forge, et dans les fours à réverbère.

Puisque la fonte grise laisse, comme l'acier, un résidu noir, étant dissoute dans l'acide sulfurique

étendu d'eau, et qu'elle contient moins d'oxigène que n'en renferme la fonte blanche, elle doit avoir plus d'analogie avec l'acier, et elle doit se convertir plus facilement en acier. Il faut donc l'employer de préférence pour la préparation de ce métal.

Mais il n'en est pas ainsi : la fonte grise tenue long-temps en bain, et soumise à une faible influence de l'air atmosphérique, s'affine en partie, acquiert un certain degré de malléabilité, et ressemble alors au mauvais fer, sans cependant se rapprocher de l'acier autant que la fonte blanche mise dans la même circonstance, ou grillée seulement en contact avec l'air atmosphérique. Dans les usines où l'on est obligé de traiter la fonte grise pour acier, parce qu'elle est ordinairement moins chargée de substances étrangères que la fonte blanche, si les minérais ne sont pas d'une pureté parfaite, le travail devient très-pénible. Dans le département de l'Isère, où l'on affine de la fonte grise, on ne fait dans un feu que 600 livres d'acier par trente heures*, et l'on obtiendrait dans le même temps une double quantité de fer; tandis que dans les usines de la Styrie, et sur-tout dans la principauté de Siegen, où l'on travaille sur fontes blanches ou blanchies, on obtient dans un temps donné, presque autant d'acier que de fer. Dans presque toute l'Allemagne septentrionale, on ne convertit en acier que les fontes grises. L'affinage devient long et pénible, bien qu'on l'abrége par une manipulation particulière qu'il serait peut-être

* Journal des usines, n°. 4, p. 3-23.

avantageux d'introduire dans les départemens de l'Isère et de la Nièvre. En un mot, la fonte grise exige un travail très-long pour se convertir en acier, tandis qu'il est bien plus facile de l'affiner pour fer; mais la fonte blanche lamelleuse donne aussi facilement l'un que l'autre de ces deux produits. Il en résulte que la fonte grise n'a pas plus d'analogie avec l'acier que n'en a la fonte blanche, et que l'idée qu'on se fait de la composition de ces trois fers de natures différentes, doit manquer d'exactitude.

Il est facile, d'ailleurs, de prouver directement que la différence de la fonte blanche à la fonte grise, n'est pas due aux proportions des parties constituantes de ces deux espèces de fer cru, puisque l'une passe à l'état de l'autre sans addition d'aucune substance étrangère. La fonte blanche refondue dans un creuset, à l'abri du contact de l'air et du charbon, soumise à un haut degré de chaleur et refroidie avec beaucoup de lenteur, devient parfaitement grise. La fonte grise, au contraire, se change en fonte blanche, si, étant à l'état liquide, elle se trouve refroidie d'une manière subite. On a voulu attribuer ce changement à l'oxidation, en prétendant que l'eau dont le sable des moules était imbibé, se décomposait et fournissait de l'oxigène à la fonte; mais le même phénomène se reproduit d'une manière bien plus sensible dans les moules de fer, parce qu'ils sont encore plus conducteurs du calorique.

De plus, la fonte blanche obtenue par un refroidissement subit, jouit en tout point des propriétés chimiques et physiques de la fonte blanche naturelle,

telles que la couleur, la texture, la dureté, l'aigreur, la pesanteur spécifique, la manière de se conduire au feu et dans les diverses opérations métallurgiques; il s'ensuit qu'elles ne peuvent différer entr'elles ni par la nature ni par les proportions de leurs élémens caractéristiques.

Mais quelle est donc la cause d'un changement si extraordinaire, qui fait d'une matière à cassure grenue, douce, attaquable à la lime et au foret, recevant l'impression du marteau facilement, qui en fait, dis-je, une substance à cassure blanche, lamelleuse et rayonnante, très-aigre, et si dure qu'elle résiste à l'acier fortement trempé? serait-ce la même cause qui produit le phénomène de la trempe? il ne peut en être tout-à-fait ainsi, puisque l'acier trempé ou non trempé se comporte de la même manière au feu; tandis que la fonte blanche obtenue par un refroidissement subit, ne jouit point des propriétés chimiques de la fonte grise. La première entre en fusion à un moindre degré de chaleur, ne devient pas liquide, se détache des plaques par écailles, au lieu de tomber par gouttes dans le creuset, et s'affine avec une grande facilité. La deuxième, au contraire, exige une plus haute température pour entrer en fusion, devient ensuite parfaitement liquide, mais elle change difficilement de nature, au point qu'on ne parvient pas à l'affiner dans les fours à réverbère *.

---

* Nous supposons que la fonte blanche et la grise proviennent des mêmes minérais.

Il est hors de doute, d'après ce qui précède, que la fonte grise subit, sans absorber ni perdre aucune substance, une révolution chimique, par le refroidissement instantané. Or l'analyse indique la nature de cette révolution, en ce qu'elle montre le carbone contenu dans la fonte grise à l'état de graphite, et que dans la fonte blanche il est combiné avec toute la masse du fer. Au reste nous ne voulons pas entrer dans le détail de la théorie de M. Karsten, qu'on ne peut bien connaître que par la lecture de son ouvrage. Il nous suffit de montrer les défectuosités de la théorie actuelle qui se trouve en opposition avec les faits d'expérience les plus importans.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que des conclusions que les auteurs eux-mêmes ont tirées de leur système; mais la manière dont il a été appliqué plus tard à l'affinage de la fonte, dans les feux de forges et dans les fours à réverbère, n'a pas été plus heureuse comme on peut le voir par les exemples suivans.

Puisque l'on croyait que la fonte blanche contenait plus d'oxigène que la grise, on pensait qu'il fallait l'affiner dans un feu dont la tuyère fût peu plongeante; et l'on recommandait expressément de donner à la tuyère moins de pente lorsqu'on travaillerait sur fonte blanche, qu'on n'en donnerait si la fonte était grise. Cependant le contraire se pratique avec raison dans toutes les forges où l'on affine des fontes d'espèces différentes. On doit d'ailleurs se rappeler, pour sentir toute la portée de ce conseil, que l'inclinaison de la tuyère est de la plus haute importance dans l'affinage.

On attribue la fusibilité de la fonte blanche à la présence de l'oxigène ; et dans la théorie de l'affinage, on prétend que les laitiers pauvres, ou les pierres siliceuses jetées dans le creuset, ont pour but d'absorber l'oxigène ou l'oxide de fer contenu dans la fonte. Cependant qu'arrive-t-il ? aussitôt que ces pierres sont fondues, le métal, de dur qu'il était d'abord, se ramollit et devient pâteux, sans que la température du foyer soit augmentée. Il serait donc devenu plus fusible après avoir perdu sa dose d'oxigène !

Comme la fonte blanche était supposée contenir peu de carbone et beaucoup d'oxigène, on a dû penser qu'elle ne pouvait être traitée avantageusement dans les fours à réverbère, parce qu'elle ne s'y trouvait pas en contact avec une substance charbonneuse qui pût en achever la désoxidation. On a donc recommandé aux maîtres de forges, de ne traiter que des fontes grises dans ces sortes de foyers ; et comme ces méthodes d'affinage étaient encore toutes récentes en France, plusieurs propriétaires d'usines, se conformant aux conseils qu'ils avaient reçus, ont eu le malheur de faire leurs essais avec ce fer cru qui est entièrement intraitable dans les fours à réverbère. Ne parvenant qu'à de mauvais résultats, ils changèrent la construction des fours, quoiqu'elle fût peut-être très-bonne, varièrent le travail de différentes manières, et firent des expériences inutiles et ruineuses avant qu'ils ne connussent la cause de leur non réussite.

Ces faits nous prouvent que la théorie suivie jus-

qu'à présent, a été souvent nuisible à la métallurgie du fer, parce que les principes d'où l'on était parti, se trouvaient en opposition avec la pratique. Cependant on doit demander comment il se fait que la fonte blanche contenant autant de carbone que la grise, ainsi que le prouvent aussi les analyses faites par M. Karsten, donne souvent des résidus peu foncés en couleur, et fait dégager moins d'hydrogène que n'en développe la grise. Nous répondrons avec un chimiste célèbre, que l'acide sulfurique étendu d'eau, et l'acide hydrochlorique concentré, sont de très-mauvais réactifs lorsqu'il s'agit de découvrir la dose de charbon ou de soufre contenue dans le fer; que le carbone et le soufre peuvent s'échapper en entier avec l'hydrogène mis à nu, au point que la dissolution du protosulfure de fer dans l'acide hydrochlorique, n'offre pas une trace de soufre; qu'une dissolution de fonte blanche dans l'acide sulfurique non concentré, laisse souvent un résidu blanc, tandis que la même fonte, dissoute dans l'acide nitrique, donne un résidu noir. Si maintenant on admet avec M. Karsten, dont la théorie est basée d'ailleurs sur des expériences directes; si l'on admet, dis-je, que le carbone est dissous dans la fonte blanche en substance, et que la fonte grise le contient à l'état de graphite, on conçoit facilement que l'hydrogène doit exercer une action dissolvante beaucoup plus énergique sur le carbone de la fonte blanche, qu'il ne le ferait sur celui de la grise, puisque le graphite ou la plombagine est un corps très-fixe, inattaquable à froid par les acides,

les alkalis et tous les réactifs. Le résidu de la dissolution doit donc contenir bien moins de charbon, si la fonte est blanche, qu'il n'en contient lorsqu'elle est grise, et l'hydrogène doit être plus condensé dans le premier cas, et occuper, par conséquent, un moindre volume.

Ces observations ont été faites en partie par MM. Vandermonde, Berthollet et Monge; mais ils n'en tirèrent pas toutes les conséquences qu'on pouvait en déduire. Ils ne remarquèrent pas que l'acide sulfurique étendu d'eau, qu'ils employèrent dans leurs expériences, ou plutôt que l'hydrogène dégagé agissait différemment sur le carbone des deux espèces de fonte. Cependant, à la simple inspection de ces deux régules, on devait être convaincu que le carbone est bien plus intimement combiné avec le métal dans la fonte blanche qu'il ne l'est dans la grise qui présente à la cassure l'aspect d'un mélange. Ce combustible se trouvant donc dans un état de plus grande ténuité dans l'un de ces régules, lorsque, par l'effet de l'oxidation, il était abandonné par le fer, devait être plus disposé à se dissoudre dans l'hydrogène. Cette remarque, s'il elle eût été faite, aurait donné lieu à de nouvelles recherches et aurait conduit peut-être au résultat énoncé par M. Berzelius.

Quoiqu'on ne puisse nier que la fonte grise et la noire ne doivent leur couleur à la présence de la plombagine, on ne peut en induire, cependant, que la fonte blanche doive la sienne à l'absence du charbon, puisqu'il existe beaucoup de matières charbonneuses qui sont parfaitement blanches.

Si nous avons tâché d'établir en principe, que la différence de la fonte blanche à la grise ne doit être attribuée, ni à la présence de l'oxigène, ni aux proportions du carbone, nous ne prétendons pas, toutefois, que le fer ne puisse se combiner avec une petite dose d'oxigène et former des espèces de sous-oxides; mais rien ne prouve que la fonte soit un composé de cette nature.

M. Lampadius dit avoir obtenu une certaine quantité d'acide carbonique, en traitant le fer cru avec du charbon purgé de ce gaz. Mais ses expériences qui sont très-incertaines peuvent s'expliquer facilement par la décomposition de la silice, provenant, soit du charbon, soit de la matière de la cornue.

Quant aux expériences en grand, que ce professeur a faites en traitant la fonte dans un four à réverbère, il me semble qu'on peut en tirer une conclusion bien différente de celle qu'on en a déduite.

Nous allons indiquer ces essais en peu de mots *.

Premier essai avec le simple feu du fourneau.

On versa de la fonte grise encore liquide, dans un four à réverbère et on la remua fréquemment. Après avoir bouillonné pendant quelques heures, elle devint blanche, un peu plus malléable, et se laissa traiter facilement, pour fer, dans un feu d'affinerie ordinaire.

* Voyez le Journal des Mines, vol. 16, pag. 298 — 302.

Deuxième essai, le feu du four étant secondé par l'eau en vapeur.

On versa dans le four à réverbère, trois quintaux de fonte grise qu'on venait de puiser dans le haut fourneau. On mit dans une cornue tubulée 9 à 10 kilogrammes d'eau; on adapta au col un canon de fusil communiquant avec le foyer, et l'on fit bouillir cette eau de manière que les vapeurs se répandissent avec la flamme sur le bain de fonte, qu'on remua de temps à autre. Le bouillonnement qui arriva plus tôt fut plus considérable, et la flamme sortant de la cheminée devint plus claire. On renouvela l'eau, et lorsque le métal épaissi manifesta le caractère du fer affiné, on arrêta l'opération. Le grain du fer était plus fin que celui qu'on avait obtenu précédemment et la masse était criblée de soufflures.

Ce fer livré à l'affineur, était beaucoup plus difficile à traiter que la fonte ordinaire; mis dans une cornue avec du charbon purgé d'acide carbonique, il donna une plus grande quantité de gaz que n'en fait dégager la fonte blanche ou la grise.

Troisième essai, le feu du four étant secondé par l'action d'un soufflet.

On opéra dans le même foyer; la cornue était remplacée par un soufflet dont le courant d'air, parallèle à la flamme, donnait sur le bain de fonte.

La chaleur devint beaucoup plus intense qu'elle

ne l'avait été dans les essais précédens, et les phénomènes de l'affinage se manifestèrent plus tôt ; mais la matière conserva plus long-temps sa liquidité : elle était encore très-fluide au bout de quatre heures. On se mit alors à la travailler afin d'en exposer toutes les parties au contact de l'air. Cette opération éleva le degré de température, et produisit une scintillation semblable à celle de l'acier mis en combustion dans le gaz oxigène ; aussitôt qu'on cessait de remuer, tout redevenait tranquille.

Enfin on n'arrêta l'opération qu'au bout de sept heures, lorsque le métal parut s'épaissir ; parce qu'il diminua considérablement en quantité.

Le fer ayant été traité dans une cornue avec du charbon, donna moins d'acide carbonique qu'on n'en retira de celui qui fut obtenu par le deuxième essai. Les quantités d'oxigène des deux dernières espèces de fer et celles de la fonte grise et de la blanche, étaient supposées être entr'elles dans le rapport suivant :

Fer dit suraffiné par l'eau en vapeurs.	192	Les nombres représentent les pouces cubes d'acide carbonique obtenus avec une demi-livre de métal.
Id. *id.* par un soufflet.	174	
Fonte blanche ordinaire. .	165	
Fonte grise.	96	

On pensa que ces expériences, dont nous avons donné une idée succincte, venaient à l'appui de la théorie.

Si l'on voulait adopter les conclusions de l'auteur,

en admettant que l'oxigène ne pénètre pas à travers les pores de la cornue, qu'il ne provient ni de la matière de ce vase ni du charbon, il en résulterait que le fer peut, en se combinant avec une petite dose de ce fluide, former des sous-oxides. Mais comment concilier alors le rôle que, dans la théorie, on fait jouer à l'oxigène, avec la manière de se comporter de ces fers dits suraffinés? On dit que l'oxigène rend la fonte plus dure, plus cassante et plus fusible. Comment se fait-il alors que le fer ayant absorbé une très-petite dose d'oxigène de plus qu'il n'en contient à l'état de gueuse blanche, soit devenu plus doux, plus malléable et beaucoup plus réfractaire? Le caractère de la fonte le plus distinctif comparativement au fer ductile, c'est la fusibilité et le défaut de malléabilité. Il s'ensuit donc que l'oxigène ne peut être regardé comme un principe caractéristique du régule, ainsi qu'on l'a prétendu ; puisque, d'après les expériences que nous venons de rapporter et dont nous voulons même admettre pour le moment toutes les conséquences ; puisque, dis-je, il existe du fer contenant à peu près autant, et même un peu plus d'oxigène que la fonte blanche, et se rapprochant néanmoins du fer ductile auquel il ressemble, sur-tout sous le rapport du haut degré de chaleur qu'il faut employer pour le mettre en fusion. Aucun fait n'est donc plus contraire à la doctrine reçue que ces essais présentés pour en être une confirmation.

Plusieurs personnes regardent l'effervescence qui a lieu au moment où le métal passe à l'état de fer ductile, comme une preuve de la présence de l'oxi-

gène dans la fonte; mais cette effervescence n'est due qu'à l'action du courant d'air dont l'oxigène se combinant avec le carbone produit de l'acide carbonique qui, en se dégageant, soulève les scories dont le fer est toujours enveloppé; car, si l'on opère l'affinage par des additions de laitiers riches, plutôt que par l'action du vent, le bouillonnement, s'il a lieu, est très-faible; c'est pour cette raison que la méthode allemande, dans laquelle on fait un usage moins fréquent de ces additions, a été appelée par les suédois, affinage par bouillonnement.

Dans la relation du troisième essai que nous venons de citer, il est dit *que la masse devenait tranquille aussitôt qu'on cessait de la remuer.* Il s'ensuit que l'effervescence ne provenait pas de l'oxigène contenu dans le métal, et qu'on doit l'attribuer seulement au contact de l'air et au renouvellement des surfaces.

On a regardé aussi les ampoules du fer qui a été soumis à la cémentation, comme une preuve que la réduction n'en était pas complète, et qu'il se trouvait encore combiné avec une certaine partie d'oxigène. D'un autre côté on suppose le fer doux plus pur, plus affiné que le fer dur. Mais il est prouvé que c'est précisément le fer doux qui se couvre le plus de ces bulles, tandis que le fer dur changé en acier, en est quelquefois entièrement exempt. On ferait la même objection aux personnes qui supposeraient que c'est l'hydrogène abandonné par le carbone au moment où ce dernier entre en combinaison avec le métal, qui est la cause de ce

phénomène, que nous avons expliqué, du reste, dans une note ajoutée au §. 1117.

Si l'on admettait avec les partisans de la théorie reçue, que le régule et le fer ductile ne sont pas entièrement désoxidés, comment se ferait-il donc que la fonte ne se boursouffle pas comme le fer lorsqu'on la cémente, soit dans la poussière de charbon, soit dans des cendres d'os, pour la rendre malléable? Réaumur et Rinman, dans leurs nombreux essais, ne remarquèrent jamais d'ampoules sur la fonte traitée de la sorte; et ce n'est point par oubli qu'ils négligèrent de faire mention d'une circonstance si importante, puisque les soufflures auraient mis hors de service les objets de fer cru qu'ils cémentèrent pour les adoucir.

Metz, le 1er. mai 1824.

F. J. CULMANN.

AVERTISSEMENT
DU TRADUCTEUR.

Bien qu'il n'entre pas dans notre intention d'exposer la nouvelle théorie sur les différens états métalliques du fer, substituée à l'ancienne, puisque l'auteur lui-même n'a voulu en parler que dans le texte de son ouvrage; nous devons cependant faire observer que M. Karsten s'est trouvé dans la position la plus favorable pour entreprendre une réforme si urgente: savant naturaliste, chargé de faire un cours public de métallurgie, et placé en même temps à la tête des plus vastes établissemens, il est parvenu à lier ses principes intimement à la pratique. Pour ce qui est des faits, des consommations de matières, par exemple, et de toutes les expériences qui exigent de longues observations, on doit accorder nécessairement la plus grande confiance aux données de cet auteur.

Il nous reste à dire un mot sur notre travail. Le devoir du traducteur est de garder à l'original la plus rigoureuse fidélité, sauf à mettre sa propre opinion, en forme de notes, ou à prévenir du moins lorsqu'il y a erreur évidente. Nous pensons ne nous être jamais écarté de ces principes, bien que nous ayons retranché

souvent des répétitions que les allemands aiment à prodiguer à cause de la grande richesse de leur langue, mais qui sont bien moins tolérables dans la nôtre. Nous avons ajouté des notes au bas des pages, soit pour éclaircir le texte, soit pour expliquer des phénomènes annoncés seulement par l'auteur, soit enfin pour communiquer aux lecteurs les résultats de nos propres observations : enfin, pour rendre le Manuel du sidérurgiste plus utile et plus complet, nous avons fait mention, en citant les écrits que l'on peut consulter, des améliorations et des procédés nouveaux qu'on a proposés depuis la publication de cet ouvrage.

Le texte du premier volume est précédé de plusieurs tables de réduction et de substitution que nous avons calculées, et dont nous nous sommes servi pour convertir les mesures et les poids étrangers, en mesures et en poids métriques. Nous pouvons garantir l'exactitude de ces tables, et nous espérons qu'on nous saura bon gré de nous être livré à ces opérations fastidieuses.

TABLES

De réduction et de substitution de plusieurs mesures et poids d'Allemagne, en mesures et en poids de France.

CES tables comprennent la réduction des poids et des mesures dont M. Karsten a fait usage dans son traité : on y trouve

1°. La réduction des lignes, pouces et pieds du Rhin, en millimètres, centimètres et mètres;

2°. Des lignes, pouces et pieds carrés du Rhin, en millimètres, centimètres et mètres carrés;

3°. Des pouces et pieds cubes du Rhin, en centimètres cubes et en litres;

4°. Des livres de Berlin, en kilogrammes;

5°. Des livres de Breslaw, en kilogrammes;

6°. Une table de substitution qui sert à faire connaître le poids en kilogrammes, d'un nombre quelconque de mètres cubes, étant donné le poids en livres de Berlin, d'un pareil nombre de pieds cubes du Rhin;

7°. Une table de substitution qui exprime le volume en mètres, d'un certain nombre de kilogrammes, étant donné le volume en pieds du Rhin, d'un pareil nombre de livres de Berlin;

8°. Une table de substitution semblable à la table 6, et calculée pour la livre de Breslaw;

9°. Une table de substitution semblable à la table 7, et calculée aussi pour la livre de Breslaw.

Enfin, nous avons ajouté à ces tables, la réduction des pieds linéaires, carrés et cubes de roi, en mètres, et des mètres en pieds.

On est parti des bases suivantes :

	mètres.
1°. Le pied du Rhin est égal à........	0,313853
	m. car.
2°. Le pied carré du Rhin est égal à.	0,098504
	m. cub.
3°. Le pied cube du Rhin est égal à.	0,030916
	m.
4°. Le pied de roi est égal à.........	0,324839
	k.
5°. La livre de Berlin est égale à......	0,468461
	k.
6°. La livre de Breslaw est égale à....	0,537558

La valeur du pied du Rhin et celle de la livre de Berlin, ont été prises dans les tables du général Gassendi, parce qu'elles se sont trouvées assez d'accord avec les calculs de M. Karsten. Il n'en a pas été de même de la livre de Breslaw, fixée dans l'aide mémoire des officiers d'artillerie seulement à 0,405231, poids qui serait plus faible que celui de Berlin, tandis qu'il est réellement plus fort dans le rapport de 11475 : 10000; comme on peut le voir dans l'ouvrage même de M. Karsten. Les valeurs des *scheffel* de Breslaw et de Berlin admises par l'auteur de l'Aide Mémoire, ne pouvaient servir : il est probable que les *scheffel* pour le minérai et pour le charbon, diffèrent des *scheffel* pour le grain. Quoi qu'il en soit, ces mesures étrangères ont entièrement disparu de l'ouvrage ; nous les avons évaluées pour chaque cas particulier, d'après les données même de l'auteur, en pieds cubes du Rhin, que nous avons réduits ensuite en litres à l'aide de nos tables.

1°. *Valeur métrique de la ligne et du pouce du Rhin.*

LIGNES du Rhin.	MILLIMÈTRES.	POUCES du Rhin.	CENTIMÈTRES.
1	2,179538	1	2,615446
2	4,359077	2	5,230893
3	6,538616	3	7,846340
4	8,718155	4	10,461786
5	10,897694	5	13,077233
6	13,077233	6	15,692680
7	15,256772	7	18,308136
8	17,436311	8	20,923573
9	19,615849	9	23,539019
10	21,795388	10	26,154466
11	23,974927	11	28,769912
12	26,154466	12	31,385358

2°. *Valeur métrique du pied du Rhin.*

PIEDS du Rhin.	MÈTRES.	PIEDS du Rhin.	MÈTRES.
1	0,3138	20	6,2771
2	0,6277	21	6,5909
3	0,9416	22	6,9048
4	1,2554	23	7,2186
5	1,5693	24	7,5325
6	1,8831	25	7,8463
7	2,1970	26	8,1602
8	2,5108	27	8,4740
9	2,8247	28	8,7879
10	3,1385	29	9,1018
11	3,4524	30	9,4156
12	3,7663	31	9,7294
13	4,0801	32	10,0433
14	4,3939	33	10,3571
15	4,7078	34	10,6710
16	5,0217	35	10,9849
17	5,3355	36	11,2987
18	5,6493	37	11,6126
19	5,9632	38	11,9264

Suite du tableau n°. 2.

PIEDS du Rhin.	MÈTRES.	PIEDS du Rhin.	MÈTRES.
39	12,2403	45	14,1234
40	12,5541	46	14,4372
41	12,8680	47	14,7511
42	13,1818	48	15,0649
43	13,4957	49	15,3788
44	13,8095	50	15,6926

3°. *Valeur métrique des lignes et des pouces carrés du Rhin.*

LIGNES carrées.	MILLIMÈTRES carrées.	POUCES carrés.	CENTIMÈTRES carrés.
1	4,750389	1	6,840561
2	9,500779	2	13,681122
3	14,251169	3	20,521684
4	19,001559	4	27,362245
5	23,751949	5	34,202806
6	28,502338	6	41,043367
7	33,252728	7	47,883928
8	38,003118	8	54,724490
9	42,753497	9	61,565051
10	47,503897	10	68,405612

4°. *Valeur métrique du pied carré du Rhin.*

PIEDS carrés.	MÈTRES carrés.	PIEDS carrés.	MÈTRES carrés.
1	0,0985	21	2,0686
2	0,1970	22	2,1671
3	0,2955	23	2,2656
4	0,3940	24	2,3641
5	0,4925	25	2,4626
6	0,5910	26	2,5611
7	0,6895	27	2,6596
8	0,7880	28	2,7581
9	0,8865	29	2,8566
10	0,9850	30	2,9551
11	1,0835	31	3,0536
12	1,1820	32	3,1521
13	1,2805	33	3,2506
14	1,3791	34	3,3491
15	1,4776	35	3,4476
16	1,5761	36	3,5461
17	1,6746	37	3,6446
18	1,7731	38	3,7431
19	1,8716	39	3,8416
20	1,9701	40	3,9402

Suite du tableau n°. 4.

PIEDS carrés.	MÈTRES carrés.	PIEDS carrés.	MÈTRES carrés.
41	4,0387	46	4,5312
42	4,1372	47	4,6297
43	4,2357	48	4,7282
44	4,3342	49	4,8267
45	4,4327	50	4,9252

5°. *Valeur métrique des pouces cubes du Rhin.*

POUCES cubes.	CENTIMÈTRES cubes.	POUCES cubes.	CENTIMÈTRES cubes.
1	17,891123	6	107,346738
2	35,782246	7	125,237861
3	53,673369	8	143,128984
4	71,564492	9.	151,020107
5	89,455615		

6°. *Valeur métrique des pieds cubes du Rhin.*

PIEDS cubes.	LITRES.	PIEDS cubes.	LITRES.
1	30,916	21	649,236
2	61,832	22	680,152
3	92,748	23	711,068
4	123,664	24	741,984
5	154,580	25	772,900
6	185,496	26	803,816
7	216,412	27	834,732
8	247,328	28	865,648
9	278,244	29	896,564
10	309,160	30	927,480
11	340,076	31	958,396
12	370,992	32	989,312
13	401,908	33	1020,228
14	432,824	34	1051,144
15	463,740	35	1082,060
16	494,656	36	1112,976
17	525,572	37	1143,892
18	556,488	38	1174,808
19	587,404	39	1205,724
20	618,320	40	1236,640

Suite du tableau n°. 6.

PIEDS cubes.	LITRES.	PIEDS cubes.	LITRES.
41	1267,556	61	1885,876
42	1298,472	62	1916,792
43	1329,388	63	1947,708
44	1360,304	64	1978,624
45	1391,220	65	2009,540
46	1422,136	66	2040,456
47	1453,052	67	2071,372
48	1483,968	68	2102,288
49	1514,884	69	2133,204
50	1545,800	70	2164,120
51	1576,716	71	2195,036
52	1607,632	72	2225,952
53	1638,548	73	2256,868
54	1669,464	74	2287,784
55	1700,380	75	2318,700
56	1731,296	76	2349,616
57	1762,212	77	2380,532
58	1793,128	78	2411,448
59	1824,044	79	2442,364
60	1854,960	80	2473,280

7°. *Valeur des livres de Berlin en kilogrammes.*

LIVRES de Berlin.	KILOGRAMMES.	LIVRES de Berlin	KILOGRAMMES.
1	0,4685	20	9,3692
2	0,9369	21	9,8377
3	1,4054	22	10,3061
4	1,8738	23	10,7746
5	2,3423	24	11,2431
6	2,8108	25	11,7115
7	3,2792	26	12,1800
8	3,7477	27	12,6484
9	4,2161	28	13,1169
10	4,6846	29	13,5854
11	5,1531	30	14,0538
12	5,6215	31	14,5223
13	6,0900	32	14,9907
14	6,5584	33	15,4592
15	7,0269	34	15,9276
16	7,4954	35	16,3961
17	7,9637	36	16,8645
18	8,4323	37	17,3330
19	8,9008	38	17,8015

Suite du tableau n°. 7.

LIVRES de Berlin.	KILOGRAMMES.	LIVRES de Berlin.	KILOGRAMMES.
39	18,2700	58	27,1707
40	18,7384	59	27,6391
41	19,2069	60	28,1076
42	19,6754	61	28,5761
43	20,1438	62	29,0446
44	20,6123	63	29,5130
45	21,0807	64	29,9815
46	21,5492	65	30,4499
47	22,0176	66	30,9184
48	22,4861	67	31,3868
49	22,9546	68	31,8553
50	23,4231	69	32,3238
51	23,8915	70	32,7922
52	24,3599	71	33,2607
53	24,8284	72	33,7291
54	25,2968	73	34,1976
55	25,7653	74	34,6661
56	26,2338	75	35,1346
57	26,7022	76	35,6031

Suite du tableau n°. 7.

LIVRES de Berlin.	KILOGRAMMES.	LIVRES de Berlin.	KILOGRAMMES.
77	36,0715	89	41,6930
78	36,5399	90	42,1614
79	37,0084	91	42,6299
80	37,4768	92	43,0984
81	37,9453	93	43,5668
82	38,4138	94	44,0353
83	38,8822	95	44,5037
84	39,3507	96	44,9722
85	39,8192	97	45,4407
86	40,2876	98	45,9092
87	40,7561	99	46,3776
88	41,2246	100	46,8461

8°. *Valeur des livres de Breslaw en kilogram.*

LIVRES de Breslaw.	KILOGRAMMES.	LIVRES de Breslaw.	KILOGRAMMES.
1	0,5375	20	10,7512
2	1,0751	21	11,2887
3	1,6127	22	11,8263
4	2,1502	23	12,3638
5	2,6878	24	12,9014
6	3,2253	25	13,4390
7	3,7629	26	13,9765
8	4,3005	27	14,5141
9	4,8380	28	15,0516
10	5,3756	29	15,5692
11	5,9131	30	16,1268
12	6,4507	31	16,6643
13	6,9883	32	17,2019
14	7,5238	33	17,7394
15	8,0634	34	18,2770
16	8,6009	35	18,8146
17	9,1385	36	19,3521
18	9,6761	37	19,8897
19	10,2136	38	20,4272

Suite du tableau n°. 8.

LIVRES de Breslaw.	KILOGRAMMES.	LIVRES de Breslaw.	KILOGRAMMES.
39	20,9648	58	31,1784
40	21,5024	59	31,7160
41	22,0399	60	32,2535
42	22,5775	61	32,7911
43	23,1150	62	33,3286
44	23,6526	63	33,8662
45	24,1901	64	34,4038
46	24,7277	65	34,9413
47	25,2653	66	35,4789
48	25,8028	67	36,0164
49	26,3404	68	36,5540
50	26,8779	69	37,0916
51	27,4155	70	37,6291
52	27,9531	71	38,1667
53	28,4906	72	38,7042
54	29,0282	73	39,2418
55	29,5657	74	39,7793
56	30,1033	75	40,3169
57	30,6409	76	40,8545

Suite du tableau n°. 8.

LIVRES de Breslaw.	KILOGRAMMES.	LIVRES de Breslaw.	KILOGRAMMES.
77	41,3920	89	47,8427
78	41,9396	90	48,3803
79	42,4672	91	48,9179
80	43,0047	92	49,4554
81	43,5423	93	49,9930
82	44,0798	94	50,5305
83	44,6174	95	51,0681
84	45,1549	96	51,6056
85	45,6925	97	52,1432
86	46,2300	98	52,6808
87	46,7676	99	53,2183
88	47,3052	100	53,7559

Ces tables ont été calculées avec 6 décimales, mais on a retranché ensuite les deux dernières, afin que tous les chiffres fussent entièrement exacts.

9°. *Table de substitution du mètre et du kilogramme, au pied du Rhin et à la livre de Berlin.*

Si *n* pieds cubes du Rhin pèsent LIVRES de Berlin.	*n* Mètres cubes peseront KILOGRAMMES.	Si *n* livres de Berlin correspondent à PIEDS CUBS. du Rhin.	*n* Kilogrammes correspondront à MÈTRES CUBES.
1	15,1527	1	0,065995
2	30,3054	2	0,131990
3	45,4581	3	0,197985
4	60,6108	4	0,263980
5	75,7635	5	0,329975
6	90,9162	6	0,395970
7	106,0689	7	0,461965
8	121,2216	8	0,527960
9	136,3743	9	0,593955

Ces tables peuvent servir aussi pour les substitutions inverses, comme il est facile de s'en convaincre. Les nombres qui indiquent à présent les poids, conviendront alors aux mesures.

10°. *Table de substitution des mètres cubes et des kilogrammes, aux pieds cubes du Rhin et aux livres de Breslaw.*

Si *n* pieds cubes du Rhin pesent LIVRES de Breslaw.	*n* Mètres cubes peseront KILOGRAMMES.	Si *n* livres de Breslaw correspondent à PIEDS CUB^S. du Rhin.	*n* Kilogrammes correspondront à MÈTRES CUBES.
1	17,3877	1	0,057511
2	34,7754	2	0,115022
3	52,1632	3	0,172533
4	69,5508	4	0,230044
5	86,9385	5	0,287555
6	104,3262	6	0,345066
7	121,7139	7	0,402577
8	139,1016	8	0,460088
9	156,4893	9	0,517599

11°. *Table de réduction des pieds de roi en mètres, et des mètres en pieds de roi.*

Pieds de roi.	en Mètres.	Mètres.	en Pieds de roi.
1	0,324839	1	3,078444
2	0,649678	2	6,156888
3	0,974517	3	9,235332
4	1,299356	4	12,313776
5	1,624195	5	15,392220
6	1,949034	6	18,470664
7	2,273873	7	21,549108
8	2,598712	8	24,627552
9	2,923551	9	27,705996

12°. *Table de réduction des pieds de roi carrés en mètres carrés, et des mètres carrés en pieds de roi.*

PIEDS DE ROI carrés.	MÈTRES carrés.	MÈTRES carrés.	PIEDS DE ROI carrés.
1	0,10552	1	9,476817
2	0,21104	2	18,953634
3	0,31656	3	28,430451
4	0,42208	4	37,907268
5	0,52760	5	47,384085
6	0,63312	6	56,860902
7	0,73864	7	66,337719
8	0,84416	8	75,814536
9	0,94968	9	85,291353

13°. *Table de réduction des pieds de roi cubes en mètres cubes, et des mètres cubes en pieds de roi cubes.*

PIEDS DE ROI cubes.	MÈTRES cubes.	MÈTRES cubes.	PIEDS DE ROI cubes.
1	0,034277	1	29,17383
2	0,068554	2	58,34770
3	0,102831	3	87,52155
4	0,137108	4	116,69540
5	0,171385	5	145,86925
6	0,205662	6	175,04310
7	0,239939	7	204,21695
8	0,274216	8	233,39080
9	0,308493	9	262,56465

Un pouce de roi, . . = 2,centimètres. 70699
Un centimètre, . . . = 0,pouce. 369413
Un centimètre carré, = 0,pouce carré. 136466
Un pouce carré, . . = 7,cent. carrés. 32779
Un centimètre cube, = 0,pouce cube. 050412
Un pouce cube, . . = 19,cent. cubes. 83625

TABLE

DES MATIÈRES

PAR ORDRE DE PARAGRAPHES.

INTRODUCTION.

PREMIÈRE SECTION.

PROPRIÉTÉS DU FER.

DE LA COULEUR DU FER.

DE LA TEXTURE DU FER.

DE LA PESANTEUR SPÉCIFIQUE DU FER.

DE L'ADHÉSION.

DE LA DURETÉ DU FER.

DE LA TÉNACITÉ DU FER.

DU MAGNÉTISME DU FER.

DES PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DU FER.

DES PROPRIÉTÉS DU FER DANS LES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES.

Effets du calorique sur le fer, jusqu'à l'ébullition de l'eau.

Effets du calorique sur les trois espèces de fer, jusqu'à la chaleur rouge.

Effets du calorique sur le fer, jusqu'à la température de la fusion.

Des propriétés du fer ductile dans les températures élevées.

Des propriétés de l'acier dans les températures élevées.

Des propriétés de la fonte dans les températures élevées.

DE L'ACTION DE L'OXIGÈNE SUR LE FER.

DE L'ACTION DE L'EAU SUR LE FER.

DE L'INFLUENCE DE L'AIR HUMIDE SUR LE FER.

DE L'ACTION DU CHARBON SUR LE FER.

DE L'ACTION DU SOUFRE SUR LE FER.

DE L'ACTION DU PHOSPHORE SUR LE FER.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LE CHARBON ET LE SOUFRE.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LE CHARBON ET LE PHOSPHORE.

DE L'ACTION DES ACIDES SUR LE FER.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LES ALKALIS.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LES BASES TERREUSES.

DE LA COMBINAISON DU FER AVEC LES AUTRES MÉTAUX.

DE L'ACTION DU FER SUR LES OXIDES MÉTALLIQUES.

DE L'ACTION DU FER SUR LES SELS.

DU FER OXIDÉ EN CONTACT AVEC D'AUTRES SUBSTANCES.

RÉSUMÉ DE CE QUI A ÉTÉ DIT SUR LA COMBINAISON DU CARBONE AVEC LE FER.

DEUXIÈME SECTION.

DES MATIÈRES PREMIÈRES

EMPLOYÉES POUR L'EXTRACTION DU FER.

PREMIÈRE DIVISION.

DES MINÉRAIS.

GÉNÉRALITÉS SUR LES OPÉRATIONS QUE L'ON FAIT SUBIR AUX MINÉRAIS AVANT DE LES FONDRE.

DES ESSAIS PAR LA VOIE SÈCHE.

DE L'EXTRACTION ET DE LA PRÉPARATION DES MINÉRAIS.

Du grillage et du bocardage.

DES FONDANS.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA RÉDUCTION DES MINÉRAIS EN GRAND.

DEUXIÈME DIVISION.

DES COMBUSTIBLES.

DU BOIS ET DU CHARBON DE BOIS.

DE LA TOURBE ET DU CHARBON DE TOURBE.

DE LA HOUILLE ET DU COKE.

TROISIÈME SECTION.

DES MACHINES SOUFFLANTES.

DES TROMPES.

DES SOUFFLETS EN CUIR.

DES SOUFFLETS DE BOIS.

DES SOUFFLETS A PISTON.

DES SOUFFLETS HYDRAULIQUES.

DES RÉGULATEURS.

DU VOLUME, DE LA DENSITÉ ET DE LA VITESSE DE L'AIR FOURNI PAR LES MACHINES SOUFFLANTES.

FIN DE LA TABLE DU 1er. VOLUME.

MÉMOIRE

Sur la combinaison du fer avec le carbone, lu par M. Karsten, à l'Académie royale de Prusse, le 17 avril 1823.*

---

* Ce mémoire important qui doit compléter la théorie de M. Karsten, nous est parvenu pendant l'impression ; nous l'avons traduit et mis à la suite du premier volume.

Le T.

ERRATA.

Pages.	Lignes.		Lisez.
124	10	ou jette	on jette.
137	2	de 39,56	39,5.
ib.	11	de 20,2	20,2.
141	16	64,57	46,57.
205	5	37,17	39,17.
222	16	perdent	perdant.
285	19	135	13,5.
289	dernière.	bois de charbon	bois à charbon.
305	11	1 à 1,25	1^{m} à 1^{m},25.
372	27	le fond de cuve	le fond de la cuve.
ib.	ib.	si on le	si on la.
375	30	appelées	appelés.
400	11	*aa* percé	*aa*, percé.
405	dernière.	n'emploie point de régulateur	emploie un régulateur.
425	9	mais D' étant	D' étant.
434	17	$\sqrt{2gh}\frac{\Delta}{\delta}$	$\sqrt{\frac{2gh\,\Delta}{\delta}}$
437	8 et 11	177''.	177,6.
ib.	14	210^{m},5792	220,5792.
440	19	$\sqrt{2gh\Delta}+\sqrt{\frac{x}{h+x}}$	$\sqrt{2gh\Delta}\times\sqrt{\frac{x}{h+x}}$
441	10	0,970	0,960.
442	20	$\frac{65}{1-12+0,0044675}$	$\frac{65}{1-12\times 0,0044675}$.
446	21	($1^{lit.}$,9621)	($1^{lit.}$,9836).
447		$181^{lit.}$,148	181148 lit.
ib.	à la dernière ligne de la note, *ajoutez :*		pris au volume.

NOTA. On est prié de corriger ces errata, sur-tout celui de la page 405.

MANUEL

DE LA

MÉTALLURGIE DU FER.

INTRODUCTION.

1. LA *minéralurgie* est une partie de la chimie appliquée aux arts : elle nous enseigne à obtenir en grand, avec le plus d'économie possible, les corps renfermés dans les diverses productions du règne minéral *.

2. La substance soumise à l'opération s'appelle *minérai*. Le corps qui est le résultat du travail, se nomme le *produit*. La quantité de ce corps obtenue par les opérations en grand, est le *rapport* du minérai. La quantité absolue qu'il contient, est sa *richesse* ou sa *teneur*; cette dernière expression se prend quelquefois aussi pour le rapport.

3. La docimasie ou l'art de l'essai, enseigne les règles de la réduction des minérais en petit, comme la minéralurgie enseigne celle de leur traitement en grand. Ainsi la docimasie et la minéralurgie ne diffèrent que par leurs procédés, car elles ont le même

* La minéralurgie comprend donc la métallurgie, qui ne s'occupe que de la réduction des substances métallifères.

Le Traducteur.

but. S'il était possible d'opérer en grand, comme dans un laboratoire de chimie, la minéralurgie se confondrait avec la docimasie. Mais, comme cela est inexécutable, tant à cause des dispositions particulières, que sous le rapport de l'économie, on doit faire une différence entre ces deux méthodes de réduction. La docimasie, ne travaillant que sur de petites quantités, fait connaître avec plus d'exactitude ce qui est contenu dans chaque minérai. C'est le flambeau qui éclaire et guide le minéralurgiste dans ses opérations; elle fait donc essentiellement partie de la minéralurgie.

4. Chaque corps que l'on cherche, exige un mode d'opération distinct, dépendant de la nature des minérais ou des propriétés du résultat. La minéralurgie et la docimasie se divisent par conséquent en autant de branches qu'il y a de produits à obtenir. Il existe une minéralurgie pour l'or, comme il en existe une pour l'argent, pour le fer, pour le soufre, pour le sel de cuisine, etc.; et chaque minéralurgie spéciale doit tirer son nom du produit qui est l'objet de ses opérations; ainsi nous appellerons *sidérurgie* l'art de la préparation du fer.

5. La connaissance exacte des propriétés du produit et du minéral soumis à l'opération, est pour cette raison la base sur laquelle reposent toutes les minéralurgies particulières, parce que la formation du produit dépend à la fois de ses propriétés et de celles du minérai *.

6. Le minérai reçoit son nom du résultat que l'on

* On extrait par exemple le zinc, qui est susceptible de se volatiliser, de la calamine, qui est réfractaire; ou de la blende qui ne pourrait donner du zinc sans un grillage préalable.

Note de l'auteur.

cherche : celui dont on retire de l'argent, se nomme minérai d'argent; celui qui produit du fer, minérai de fer; celui qui donne de l'alun, minérai d'alun, etc. Le minéralurgiste ne tient aucun compte, dans cette dénomination, des autres substances du minérai, parce qu'il ne veut que s'en débarrasser; c'est le but de son travail.

7. Il arrive cependant que l'on extrait plusieurs corps d'un même minérai : alors il tire son nom de celui qu'il contient en plus grande quantité, ou plutôt, de celui qui offre le plus d'avantage commercial; et l'extraction des autres corps est regardée comme une chose accessoire. Quelquefois aussi, le minérai a un nom composé, c'est lorsque les quantités ou les valeurs pécuniaires des produits sont à peu près égales. Ainsi, on appelle minérai de plomb, celui qui contient de 40 à 70 pour cent de plomb, et dont le quintal de plomb contient seulement 2 onces d'argent; minérai d'argent, celui qui contient de 16 à 30 pour cent de plomb, et dont le quintal de plomb tient plus de 2 onces d'argent; minérai de plomb et de cuivre, minérai de cuivre et minérai de plomb argentifères ceux dont on retire deux de ces métaux.

8. On nomme *résidu*, les parties du minérai que l'on a séparées du produit par les opérations métallurgiques. En traitant des minérais à l'état solide, on appelle ce résidu *scories*; et *eaux-mères*, si l'on opère sur des liquides. La nature des scories dépend du corps que l'on traite et de celui que l'on veut obtenir; quelquefois il faut les soumettre à de nouveaux traitemens; quelquefois elles ne peuvent être d'aucun usage, ou bien elles sont employées d'une manière accidentelle et dans certaines circonstances.

Telles sont les scories plus ou moins impures de plomb, de cuivre et de fer.

9. Le corps qu'on veut obtenir, est rarement dégagé de toute espèce de matière étrangère, après le traitement de son minérai. Dans son état d'impureté, on l'appelle *demi-produit*, ou *produit intermédiaire*. La nature de ce demi-produit dépend de celle du corps que l'on traite et de celle du corps que l'on cherche; le plus souvent même elle varie avec la méthode suivie dans l'opération. La fonte de fer, les mattes de cuivre, le cuivre noir en offrent des exemples.

10. Il est donc du ressort de chaque minéralurgie spéciale d'enseigner les propriétés du corps qui sera traité, celles du corps que l'on veut obtenir, la manière d'opérer déterminée par ses propriétés, ou la méthode de réduire le minérai, enfin d'examiner les demi-produits et les déchets, qui résultent de l'opération, pour arriver de cette manière à la réduction la plus complète.

11. Les minérais soumis aux *procédés minéralurgiques* sont réduits par la voie humide, ou par la voie sèche. Dans le premier cas, on les traite comme des substances minérales liquides, à l'exception des opérations préparatoires, qui sont l'objet de chaque minéralurgie spéciale; alors la nature de chaque produit détermine le mode d'évaporation. Dans le deuxième cas, les minérais subissent avant d'être réduits une préparation, ou bien ils sont fondus sans opération préliminaire. On doit distinguer cette préparation, du travail mécanique, qui ne fait pas essentiellement partie de la minéralurgie.

12. Le traitement, par la voie sèche, ne peut s'exécuter qu'à l'aide du feu, le nom seul l'indique. La

manière dont les minérais sont exposés à l'action de la chaleur est très-variable, elle dépend de leurs propriétés et de la nature du produit. Quelquefois ils sont entièrement fondus; quelquefois on se borne à opérer la séparation d'une partie du minérai, sans le mettre en fusion. Dans certains cas, le minérai est soumis immédiatement à l'action du feu; dans d'autres, il est garanti de son contact immédiat, et renfermé dans des vases particuliers. Mais quelle que soit cette disposition, nous soupposerons toujours que l'effet du combustible est concentré, limité dans un espace particulier qu'on appelle fourneau.

On ne peut en général imaginer que deux méthodes d'employer le combustible : le minérai que l'on veut traiter est entouré du combustible (dont pourtant il peut être séparé par un intermédiaire), ou bien il est seulement exposé à la flamme. Dans ce dernier cas, le fourneau est séparé en deux parties : l'une sert à faire brûler le combustible, c'est la *chauffe* avec sa grille; l'autre reçoit les minérais qui sont placés sur la sole*. Lorsque ces minérais sont renfermés dans des vases, la chauffe peut ne faire qu'un avec la sole; dans tous les cas, elles sont enveloppées l'une et l'autre par une même enceinte de maçonnerie, et couvertes par une seule voûte.

13. Les fourneaux tirent leur nom de la manière dont le combustible y est placé. Quand il est en contact avec le minérai, on les nomme *fourneaux à cuve*;

---

* La sole est une aire inclinée ou horizontale, concave ou plane, ou composée de deux surfaces, selon la nature du minérai et l'usage que l'on veut faire de la masse fondue.

Le T.

et *bas fourneaux*, *feux*, *forges*, lorsqu'ils sont très-petits. Ceux dans lesquels la matière combustible exige un espace particulier s'appellent *fours à reverbère*. Si cet espace est supprimé, les autres dispositions restant les mêmes, ils se changent en fourneaux à vent ou fourneaux à creuset. Tels sont dans le premier cas, les hauts fourneaux pour le fer, le cuivre et le plomb, les fourneaux courbes, les affineries, les renardières. Dans le deuxième, les fours d'affinerie, les fours pour fondre le cuivre, le plomb, le zinc, le fer cru, les fours de liquation, etc. Dans le troisième enfin, les fourneaux pour le zinc usités en Carinthie, ceux pour le bismuth, le soufre, le mercure, l'arsenic rouge et noir, et ceux dont on fait usage pour refondre le fer cru et l'acier dans des creusets.

14. En traitant les minérais par la voie sèche, on peut avoir pour but d'opérer, soit une combinaison, soit une décomposition : dans le premier cas, on les fond dans des creusets fermés exposés à la flamme ou chauffés au feu de charbon; c'est ainsi que l'on fabrique le bleu de cobalt, et le cuivre jaune avec le cuivre rouge et la calamine. Dans le deuxième, le produit peut être ou volatil ou fixe : s'il est volatil, on enferme le minérai dans des vases (des mouffles ou des cornues), on les échauffe et l'on recueille le corps dans d'autres vases liés aux premiers, comme pour le traitement du zinc, du mercure, de l'antimoine, de l'arsenic rouge et métallique, du soufre, etc. Ou bien on expose le minérai à l'action immédiate de la flamme pour recueillir ensuite les vapeurs dans des cheminées ou dans de vastes récipiens, comme pour l'extraction de l'arsenic blanc, et dans certains cas de celle du soufre et du mercure.

15. Si le corps que l'on veut obtenir est fixe, on jette le combustible avec le minérai, soit dans des fourneaux à cuve, soit dans des bas fourneaux; ou bien on expose le minérai à l'action de la flamme d'un four à reverbère: s'il est de nature à se fondre, à se brûler facilement, on doit le garantir de l'effet immédiat de la flamme et de l'oxigène, l'enfermer dans des vases particuliers et le traiter au four à creuset.

16. Les fourneaux à cuve sont formés d'un espace plus ou moins élevé, entouré d'un mur. Le vide intérieur peut être rond ou angulaire, on le remplit de minérai et de combustible, la sole termine sa partie inférieure. Lorsqu'on y ménage un vide particulier pour recevoir la masse fluide qui tombe par filtration au travers du combustible, on donne à ce vide le nom de *creuset*. Dans certains fourneaux à cuve, la face antérieure s'appelle le *côté du travail*, et la partie inférieure de cette face est la *poitrine du fourneau*.

17. Lorsque ces foyers sont construits de manière que la sole ou la pierre de fond se trouve en totalité au-dessous de la cuve, et que le mur de devant est sans ouverture, on dit que le travail se fait à *poitrine close* comme pour les *flussofen* (fourneaux de fusion), les *stuckofen* (fourneaux à la masse), les fourneaux à manche qui servent à refondre le fer cru; mais quand une partie du creuset est au-dessous de la cuve et l'autre au-dessous de la poitrine, on appelle ce genre de travail le *fondage à poitrine ouverte*, ou le *fondage sur le creuset*. C'est ainsi que sont construits les hauts fourneaux pour le traitement du fer. Enfin, si la sole est au-dessous de la cuve et si la masse liquide qui s'y rassemble peut s'écouler par une ouverture, on le nomme le *fondage par l'œil* : c'est ainsi que l'on cons-

truit les fourneaux pour fondre l'étain, le cuivre, etc. Lorsqu'un semblable foyer a deux ouvertures, il est appelé *fourneau à lunettes*. Comme ces différentes manières de travailler ne dépendent que de la construction de la partie inférieure de la cuve, on peut modifier facilement toute espèce de fourneau pour lui appliquer tel ou tel autre genre de fondage.

18. Il résulte de ce qui précède, qu'il faut adapter avec discernement la forme du fourneau à la nature des minérais et de leurs produits. Les premières considérations déterminantes sont relatives à la volatilité ou à la fixité plus ou moins grande du résultat que l'on a en vue d'obtenir; car on ne peut traiter dans les hauts fourneaux, les corps volatils à la chaleur ordinaire de la fusion. Mais faut-il traiter dans ces foyers ou bien dans des fours à reverbère, les minérais qui, à la chaleur ordinaire de la fusion, donnent un produit fixe? C'est ce qu'on ne peut décider que par leur plus ou moins grande facilité à se réduire; car on ne peut fondre dans les fours à reverbère, que les minérais qui n'exigent pas un très-haut degré de chaleur pour abandonner les scories, et donner le produit qui doit résulter de leur fusion (8).

Le travail, qui ne demande pas une fusion complète des minérais, ne peut avoir lieu dans les fourneaux à cuve; il est réservé pour les fours à reverbère. De la nature du produit et des minérais dépend donc immédiatement le choix du foyer que l'on doit employer.

19. La connaissance approfondie des combustibles est un objet des plus importans pour le métallurgiste. On les choisit en général, d'après l'espèce de fourneau dont on veut se servir: les fours à reverbère exigent

un combustible qui brûle avec une flamme vive, tandis que les fourneaux à cuve et les bas fourneaux demandent un combustible sans flamme. On emploie du bois, de la houille, de la tourbe pour les premiers, et pour les autres, on fait usage des charbons de ces matières. Il en résulte que l'art de convertir ces corps en charbon doit être connu du métallurgiste; il doit savoir apprécier les propriétés et les actions diverses de ces combustibles, soit dans leur état naturel, soit après leur carbonisation.

20. On sait que la combustion ne peut avoir lieu sans la présence de l'air atmosphérique. Dans les fours à reverbère, elle est activée par un courant d'air qui s'établit sous la grille du foyer. La nature du combustible détermine les dimensions de la chauffe, la grandeur et la position de la grille, ainsi que l'ouverture qui donne une issue à la flamme. Les fourneaux à cuve et les foyers de forge reçoivent l'air nécessaire par un canal particulier (la tuyère).

Dans les temps très-reculés, on ne connaissait pas de procédés pour recueillir l'air atmosphérique, le comprimer, le diriger et le porter dans un espace donné; ou du moins, si l'on en connaissait, ils étaient extrêmement imparfaits. Alors on dilatait l'air atmosphérique dans la cuve en allumant le combustible; ce qui devait exciter un courant du dehors en dedans; par cette méthode très-simple et moyennant plusieurs ouvertures pratiquées dans le mur, on attirait le fluide qui devait servir à la combustion. Il s'ensuivait que l'on était plus dépendant de l'état variable de l'atmosphère, de la hauteur du site des fourneaux et de mille autres circonstances, sans pouvoir produire une aussi forte chaleur qu'à l'aide des machines soufflantes actuelle-

ment en usage, qui sont absolument nécessaires aux fourneaux à cuve et aux feux de forge. De leur construction plus ou moins bonne dépend, en grande partie, le succès des travaux métallurgiques.

Le mécanisme qui sert de base à toutes les machines soufflantes, à l'exception des trompes dont il sera question plus loin, consiste à faire approcher une surface mobile d'une autre qui est fixe; l'air contenu entre elles se trouve alors comprimé et lancé dans les foyers. Le mouvement rétrograde de la surface mobile fait entrer de nouveau l'air extérieur entre les deux surfaces par des ouvertures pratiquées à cet effet, et qu'on appelle *soupapes*. Les parties latérales, qui réunissent les deux surfaces, peuvent être, ou flexibles comme dans les soufflets en cuir, ou roides: dans ce dernier cas, elles sont adaptées, soit au plateau mobile, soit au plateau fixe. C'est ainsi que se construisent les soufflets ordinaires en bois, les soufflets à piston carré, les soufflets à piston rond et les soufflets cylindriques en fer; la forme de ces diverses machines est pyramidale, parallélipipédique ou cylindrique.

21. Le mouvement des soufflets ne peut avoir lieu sans un moteur quelconque. Le premier et le plus naturel sans doute, était la force musculaire de l'homme; lorsque la grandeur des établissemens rendit la force humaine insuffisante, on employa celle des animaux. Enfin, on fit usage de l'eau comme force motrice, et plus récemment on eut l'heureuse idée d'employer la force élastique de la vapeur dans les contrées où l'on manquait de cours d'eau et qui d'ailleurs, offraient les ressources nécessaires pour des établissemens métallurgiques.

22. D'après ce qui précède, on sera convaincu que la minéralurgie est un art très-compliqué; que, pour remplir son but, elle doit employer les lumières de plusieurs sciences, telles que la minéralogie, la géognosie, l'art de l'exploitation des mines, l'art forestier, les mathématiques, l'architecture soit ordinaire soit hydraulique, la mécanique, la technologie, pour la construction des machines, usines et canaux, et même la statistique et la science de l'administration pour juger des besoins d'une province et des chances du commerce. Toutes ces sciences rentrent tellement dans les différentes branches de la minéralurgie, qu'il devient difficile de déterminer ce qui appartient à ces dernières, considérées comme des parties de la chimie appliquée aux arts; et qu'il est encore plus difficile de distinguer ce qui fait l'objet d'un manuel de minéralurgie, de ce qui appartient spécialement à d'autres sciences. Dans notre manière de voir, on doit regarder leurs principes comme connus et démontrés: il suffit donc de les citer et d'en indiquer l'application.

23. Lorsque la métallurgie a enseigné les moyens d'obtenir en grand, avec le plus d'avantage possible, un corps contenu dans un minérai, elle a rempli son but, et ne devrait plus s'en occuper. Le travail subséquent et l'emploi des produits rentrent dans la technologie. Cependant, il existe certains produits métallurgiques dont le traitement ultérieur fait encore essentiellement partie de la métallurgie; c'est ce qui a lieu pour la fabrication du minium, du blanc de céruse, du vert de gris, du fer forgé au moyen du fer cru, etc.

24. Il a déjà été question (4) des diverses branches de la minéralurgie en général : elles ont toutes un but semblable, mais elles diffèrent dans les moyens,

à cause des variations qui se rencontrent dans les propriétés des produits et des minérais. — Nous allons nous occuper, à présent, de celle qui traite exclusivement de la préparation du fer.

25. Pour répondre à l'objection d'avoir consacré un enseignement spécial à la métallurgie du fer, au lieu de la présenter conjointement avec l'art de l'extraction de l'or, de l'argent, du soufre, du salpêtre, etc. il suffira de faire observer que nulle autre branche de la métallurgie n'est d'une si vaste étendue, ni d'une si haute importance pour les gouvernemens et pour les peuples; que nulle autre n'offre autant de difficultés, et que, malgré l'intérêt qu'elle doit nous inspirer, c'est celle qui a été le moins cultivée et le moins approfondie.

Elle est importante, parce que, sans le fer, il n'est aucune garantie pour la prospérité et l'indépendance d'une nation : elle est étendue, parce que le fer, par suite de sa combinaison, jusqu'à présent, si problématique avec le carbone, peut se présenter et s'obtenir dans trois états divers; et que, par un privilége qui n'appartient qu'à lui seul, on peut l'utiliser dans chaque état comme un métal particulier : elle est étendue, parce qu'il se trouve dans le cas d'exception relaté au paragraphe 23, et parce qu'avant d'être répandu dans le commerce pour ses usages si variés, il doit subir encore diverses préparations : enfin elle est difficile, parce que la connaissance des propriétés du fer et de ses minérais est encore imparfaite, et qu'il est d'un prix si bas, que les travaux relatifs à sa préparation doivent avoir le plus grand développement pour assurer des bénéfices au fabricant.

26. Ce qui n'est qu'indiqué ici, deviendra plus clair,

lorsque nous considérerons les propriétés particulières du fer. Nous devons observer seulement en général, que les trois états dans lesquels on peut l'obtenir dépendent du traitement de ses minérais, et donnent lieu aux trois principales divisions de la sidérurgie; car il se présente,

1°. Comme un métal qui ne peut se forger ni se souder, et qui devient parfaitement liquide à une chaleur convenable; dans ce cas, il s'appelle *fer cru* ou *fonte*;

2°. Comme un métal ductile, soudable, ne pouvant se fondre qu'à une chaleur extrêmement élevée, on l'appelle alors *fer forgé*, *fer en barres*, *fer ductile* et *fer pur*;

3°. Comme un métal dur, ductile, moins soudable que le précédent, et d'autant plus fusible que sa faculté de pouvoir souder diminue; c'est l'*acier*.

Nos recherches subséquentes feront voir que tous les minérais de fer sont susceptibles de donner de la fonte, du fer ductile et de l'acier, lorsqu'ils sont traités convenablement. Mais un objet essentiel de la sidérurgie, est de convertir un de ces produits en un des deux autres, soit pour des raisons d'économie, soit pour obtenir un résultat plus perfectionné.

27. Ce qui contribue particulièrement à étendre le domaine de la sidérurgie, c'est le travail accessoire que l'on fait subir à ses produits avant de les livrer au commerce. La fonte doit être mise sous diverses formes appropriées aux usages de la société, à moins qu'on ne veuille la convertir en fer forgé; ce dernier est étiré en barres, en tôle, en fil d'archal, etc. L'acier se vend rarement à l'état brut, il a besoin d'être raffiné. Ainsi, la métallurgie du fer ne se borne pas,

comme la métallurgie en général, à fournir la matière que l'on veut obtenir, elle doit encore en modifier la forme et la qualité.

28. Le prix médiocre du fer, laisserait peu d'avantage aux propriétaires d'usines, si la fabrication ne recevait pas une très-grande étendue. Mais, une grande production suppose de vastes établissemens et une forte dépense annuelle, occasionnée par les matières premières; il s'ensuit que l'achat des combustibles et la construction des usines exigent la plus grande circonspection. D'ailleurs ce qui a été dit (22) des diverses connaissances relatives à la minéralurgie en général, s'applique plus particulièrement à la métallurgie du fer; 1°. parce que les appareils dont elle a besoin pour convertir ses produits en objets de commerce, sont plus compliqués que ceux qui servent à la préparation des autres métaux; 2°. parce que les établissemens des maîtres de forges, pour pouvoir prospérer, doivent être d'une grandeur considérable, je dirai même colossale.

29. L'immense consommation des combustibles et des minérais, qu'entraînent les travaux métallurgiques du fer, exige de la part du sidérurgiste praticien, une connaissance parfaite de ces matières premières, ainsi que la plus stricte économie dans leur emploi. Par ses lumières, il doit être plus indépendant de ses maîtres mineurs, de ses agens forestiers, de son architecte que les autres métallurgistes. Il doit leur servir de modèle pour l'économie, pour la construction et la disposition de ses bâtimens et de ses machines. Nous devons en conclure que la sidérurgie demande une étude plus approfondie des matières premières, de la technologie et de l'architecture, que l'art de réduire les

autres minérais, et qu'il faut la considérer, à juste titre, comme la base de toute la métallurgie.

30. Pour fondre les minérais de fer, il faut les exposer à une haute température; la difficulté de la produire a retardé le perfectionnement de la sidérurgie et la connaissance du fer à l'état liquide. On ne peut traiter ces minérais dans les fours à reverbère, et la découverte des fourneaux à cuve est due, probablement, à une circonstance fortuite. Si l'on eût pu les réduire dans d'autres foyers, la fonte eût été connue et employée mille ans plutôt. La difficulté de traiter les minérais de fer, les modifications de ce métal, dans ses trois états différens, de fonte, de fer forgé et d'acier, nous imposent l'obligation de l'étudier avec plus de soin, d'approfondir ses propriétés, sa manière d'être à l'égard des autres corps, la nature de ses différens minérais, la construction des machines et des appareils indispensables à sa préparation.

31. Sans trop pénétrer dans le domaine des sciences dont la minéralurgie et principalement l'art des forges empruntent les principes et les lumières, on peut borner l'enseignement de la sidérurgie à ce qui suit : Exposer d'abord les propriétés physiques et chimiques du fer dans toute leur étendue, puis traiter des connaissances qui doivent précéder son traitement et qui sont relatives aux minérais, aux combustibles, aux machines employées pour porter l'air dans les foyers et à la construction des fourneaux à cuve, où l'on réduit les minérais. Ce n'est qu'ensuite qu'on parlera de leur traitement, de la conduite des fourneaux, de la fonte, de son usage et des moyens employés pour la mouler en objets de commerce. Après quoi l'on parlera du fer ductile obtenu de la fonte, ou de l'affinage immé-

diat des minérais. Enfin on donnera une description succincte des machines et des procédés employés pour dégrossir le fer, pour le convertir en petits échantillons, en fil d'archal, en tôle et en fer-blanc, et l'on terminera par la fabrication de l'acier.

32. C'est depuis peu que la sidérurgie embrasse dans son développement toute l'étendue que nous venons de faire entrevoir ; elle est moins cultivée et plus éloignée de sa perfection que toutes les autres branches de la métallurgie, malgré l'abondance avec laquelle le fer est répandu sur toute la surface du globe et malgré son utilité qui s'étend à tous les arts, à tous les besoins, je dirai même à l'existence entière des nations.

Il est probable que la difficulté de traiter les minérais de fer, a mis plus d'obstacles encore à son étude que la singularité de sa manière d'être. Ajoutons que ce n'est que depuis peu et seulement par un petit nombre de peuples, que le fer a été apprécié à sa véritable valeur. La plupart d'entre eux dirigèrent leurs recherches sur les mines d'or, d'argent et de cuivre, et négligèrent l'exploitation des mines de fer, précisément parce que la nature nous les offre avec la plus grande libéralité ; aussi, vit-on des peuples anciens, qui, depuis long-temps devaient connaître le fer, employer le cuivre pour leurs instrumens, malgré son infériorité dont ils étaient convaincus : ils savaient apprécier les qualités du fer, mais ils ignoraient l'art de le travailler.

Il est difficile de trouver dans l'histoire les premières traces de son emploi et les progrès de sa fabrication, parce qu'il n'a jamais excité l'attention des princes, et que les méthodes à suivre, pour obtenir ce vil métal, étaient exclusivement abandonnées aux soins

de la classe ouvrière. Les métallurgistes anciens ne donnent presqu'aucun renseignement sur la manière de traiter les minérais de fer; on est forcé de croire qu'ils regardèrent, avec une sorte de mépris, ce métal si commun, et que la manière de le travailler ne leur parut pas digne d'être transmise à la postérité.

33. D'après les témoignages réunis de tous les auteurs de l'antiquité, il paraît que l'usage du cuivre a précédé celui du fer; on en saisit facilement la raison; les minérais de fer qui possèdent l'aspect métallique, comme les minérais dont on retire l'or, l'argent, le cuivre, le plomb, n'étant fusibles qu'à un haut degré de chaleur, ne pouvaient être utilisés dans l'état d'imperfection où se trouvaient alors les foyers de fusion; ceux qui sont, au contraire, facilement réductibles, manquant de l'aspect métallique, échappaient à l'attention, à moins que le hasard n'en révélât l'utilité.

Cependant, on trouve quelques traces de l'emploi du fer, dans les temps les plus reculés; son usage remonte même au-delà de l'histoire : les traditions des anciens peuples en rejettent la découverte dans l'obscurité des premiers siècles. Les hébreux en attribuent l'honneur à Tubalcain qui doit avoir vécu avant le déluge, et 3000 ans avant la naissance de J. C. Chez les grecs, c'était Vulcain qui enseignait l'art de travailler le fer avant le déluge de Deucalion. Sans vouloir examiner ici quel degré de foi on doit ajouter à ces mythes, et sans prétendre qu'elles se rapportent au même événement, il en résulterait, cependant, que les époques certaines de l'histoire la plus ancienne, sont postérieures à la connaissance du fer; qu'on y attachait le plus grand prix dans ces premiers temps, puisqu'on croyait même que la divinité n'avait pas

jugé indigne d'elle de s'occuper du travail de ce métal, et les idées qu'on avait des forges de Vulcain et des Cyclopes, peignent assez les obstacles que l'on rencontrait à le mettre en œuvre.

Si donc l'histoire ne nous fournit pas la preuve que les anciens se servaient du fer, pour leurs armes et leurs instrumens, ce n'est point qu'ils aient ignoré l'utilité de ce métal, mais parce qu'ils avaient des notions trop imparfaites sur le traitement de ses minérais. On a vu, même dans le moyen âge, des peuples employer le cuivre pour leurs armes, et l'on ne peut cependant établir qu'ils n'eussent aucune connaissance du fer; s'ils ne l'employèrent pas, c'est qu'ils ne purent vaincre les difficultés de sa préparation.

34. Les premières traces de son usage doivent être cherchées chez les nations orientales de l'Asie. Le commerce étendu des Phéniciens fait présumer que le fer n'a pu leur rester inconnu, d'autant moins que, 2000 ans avant J. C., l'Egypte florissait déjà, et qu'on ne peut refuser à cette nation et à cette époque la connaissance de ce métal. Si l'on considère ensuite que les Egyptiens durent leur civilisation à un peuple situé plus à l'est, on en doit conclure que la découverte du fer se perd dans l'antiquité la plus reculée.

Quinze cents ans avant J. C., Moyse parut comme historien, et dans ses livres comme dans d'autres passages de l'ancien testament, on trouve des preuves irrécusables que le fer et l'acier étaient connus des Egyptiens et des Hébreux. Athènes et Thèbes furent fondées, à la même époque, par des colonies Egyptiennes; cependant les Grecs semblèrent ignorer longtemps encore l'art de préparer le fer, quoiqu'ils en connussent l'usage. Au siége de Troye, 1200 ans

avant J. C., ils se servirent encore d'armes en cuivre; alors le fer était extrêmement estimé chez eux, comme on le voit par un passage d'Homère, Iliade XXIII, v. 826. Il résulte du premier livre des Rois XXIII, 14, 16, XXX, 2, 7, qu'on employa beaucoup de fer à la construction du temple de Salomon, 830 ans avant J. C. A Sparte, 700 ans avant J. C., on s'est même servi du fer comme monnaie, l'or et l'argent ayant été proscrits par Lycurgue. Depuis cette époque, l'usage du fer fut répandu dans toute la Grèce.

D'après le témoignage d'Hérodote, Glaucus de Chio apprit à souder le fer, 430 ans avant la naissance de J. C.; même avant ce temps, les Grecs avaient porté l'art de le travailler, en Italie, en Espagne et en Afrique. Il est probable que les mines de l'Ile d'Elbe étaient ouvertes 700 ans avant J. C., quoique les Romains n'aient connu ce métal que quelques siècles après. Ils l'employèrent ensuite à tous leurs besoins, à tel point que, 300 ans avant J. C., ils s'en servirent pour l'exploitation des mines. Le fer de la Norique (celui de la Styrie, ou avec plus de probabilité, celui du cercle d'Autriche et du cercle de Bavière), étaient très-estimés chez eux : déjà 300 ans avant J. C. il a été célébré par leurs poëtes.

Il devient plus difficile de savoir par quel chemin l'usage du fer a pénétré dans le nord. Le climat de ces contrées inhospitalières empêchait l'homme d'y séjourner; elles n'étaient visitées que par les peuples nomades. Il paraît que celles des tribus dont la civilisation était le plus avancée, portèrent l'art des forges dans la Russie, la Suède et le nord de l'Allemagne. On prétend avoir découvert dans plusieurs endroits, des vestiges très-anciens de l'emploi du fer. Les con-

naissances relatives à son traitement ont été perdues dans certains pays ; elles furent retrouvées ensuite, lorsque les peuples commencèrent à se civiliser et qu'ils adoptèrent les mœurs de leurs voisins qui avaient conservé de leurs aïeux l'art de travailler le fer. Chez les *Venden* nous n'en voyons aucune trace, quoique leurs voisins fissent usage d'armes et d'agrès en fer. Les Bretons savaient le travailler plusieurs siècles avant la naissance de J. C.

35. On ne peut indiquer avec exactitude les procédés des anciens ; ils devaient être extrêmement simples et très-imparfaits, d'après les renseignemens que nous avons recueillis des historiens de l'antiquité.

Déjà 1600 ans avant J. C., on s'aperçut en Egypte, que certains fers se durcissaient par la trempe, et que d'autres restaient doux après cette opération. On ne tarda pas à reconnaître que les premiers étaient plus avantageux que les autres pour beaucoup d'usages. L'acier norique était très-renommé chez les Grecs et sur-tout chez les Romains. Pline est disposé à attribuer une partie de la bonne qualité de cet acier au minérai, mais il pense que c'est à l'eau principalement qu'il doit sa nature aciéreuse. On ne peut s'étonner de cette opinion, car ce n'est que dans ces derniers temps que nous avons obtenu une théorie satisfaisante sur la différence du fer et de l'acier. Dans le dix-septième siècle, on croyait encore que l'acier était un fer purifié de scories, par des refontes multipliées et par un fréquent arrosage fait avec de l'eau, lorsqu'on le forgeait.

Nous pouvons donc admettre que les anciens ne connaissaient pas de procédés certains pour obtenir ou l'acier ou le fer, et qu'ils les fabriquaient l'un et

l'autre de la même manière : quand leur but était manqué, ils en accusaient l'eau ou les minérais. On s'abandonnait au hasard, même dans les lieux où les minérais favorisaient la formation de l'acier ; les produits étaient classés d'après l'aspect de leur cassure ou d'après d'autres propriétés; mais nous pouvons affirmer qu'on ne connaissait aucun mode particulier d'opérer pour se procurer l'un ou l'autre métal.

Lorsqu'à la fin du quinzième siècle, on connut les fourneaux à cuve pour fondre les minérais, on s'aperçut bientôt que l'on pouvait fabriquer avec ces foyers, joints aux bas fourneaux, des aciers d'une plus grande pureté, que ceux qu'on obtenait par le traitement immédiat des minérais, selon les méthodes dites catalanes; et l'on profita de ce fait d'expérience pour se procurer de bons aciers. Mais comme on faisait usage du même procédé pour obtenir du fer, on peut admettre que, même à cette époque, il n'existait aucune manière certaine de fabriquer l'acier. On se procurait l'un et l'autre par les mêmes méthodes, on les obtenait en même temps, comme c'est l'usage encore dans les pays où la métallurgie du fer a fait peu de progrès.

36. Les procédés suivis par quelques peuples, encore dans l'enfance de la civilisation, nous donneront, par analogie, une idée de ceux qu'on a dû pratiquer anciennement. Pour compléter l'histoire du fer, nous allons citer quelques exemples à ce sujet: Gemelin (*Voyage en Sibérie*), nous décrit la méthode des Tartares, ainsi qu'il suit: Leur fourneau est placé à l'endroit où ils font ordinairement la cuisine, il consiste en un trou d'un demi-pied cube environ, surmonté d'une cheminée conique faite avec de la terre glaise; le côté antérieur est percé d'une ouverture que l'on ferme

pendant la fusion; il y en a une autre à l'une des faces latérales, on y adapte deux soufflets. Un homme est chargé de les faire mouvoir, un second jette le minérai et le charbon alternativement dans le foyer: le minérai est pulvérisé, on n'en charge qu'une très-petite quantité à la fois, autant qu'il en peut tenir sur la pointe d'un couteau. Aussitôt que les charbons sont un peu descendus, on les remplace et l'on continue ainsi jusqu'à ce que l'on ait chargé en totalité 3 liv. de minérai; car ils ne peuvent en fondre davantage. Après avoir soufflé encore quelques instans, ils enlèvent avec une tenaille la pierre fermant le trou de devant, cherchent le culot parmi les débris de la combustion, et le nettoient avec un morceau de bois, pour en détacher la charbonaille et les scories. On dit que ce fer, qui paraît assez impur, est cependant de bonne qualité.

Brown décrit un procédé semblable, pratiqué sur la côte orientale de l'Afrique : les nègres, qui sont l'objet du plus profond mépris pour les mahométans, font métier de séparer le fer des substances terreuses; leur produit est d'une mauvaise qualité. Pour alimenter la combustion, ils se servent d'une outre qu'ils compriment et qu'ils gonflent alternativement; l'air est dirigé par un tuyau de bois dans un petit trou, contenant le charbon et le minérai *.

---

* Voyez sur le fer forgé du Sénégal et les minérais dont on le retire, une notice insérée dans le Annales des Mines, tome 5, page 129. Il paraîtrait que ces minérais qui ne contiennent que 33 pour cent de péroxide, sont affinés immédiatement pour fer ductile dans des foyers de forge. Les méthodes suivies par les nègres du Fiouta Diallon, doivent donc avoir quelque analogie avec celles qui étaient pratiquées, et que l'on pratique encore au-

D'après Mungo-Park, il paraîtrait au contraire que les nègres de cette partie de l'Afrique ne fabriquent point le fer, puisqu'ils l'achètent à bon compte des marchands européens; mais, dans l'intérieur, sur le Gambia, ils l'obtiennent en grande quantité de ses minérais. Le fourneau des habitans de Camalia, est un cylindre de dix pieds de hauteur et de trois pieds de diamètre, cerclé en deux endroits pour qu'il puisse résister à la force expansive de la chaleur. A la partie inférieure, un peu au-dessus du sol, sont pratiquées dans la circonférence sept ouvertures; on y place des tuyaux d'argile que l'on ferme à volonté, de manière que l'air ne peut entrer que par ceux de ces conduits qui servent au fondeur à diriger le feu. Avant de commencer l'opération, on pose sur la sole du fourneau, un fagot de bois sec; on le charge ensuite en charbons et en minérais disposés par couches, de manière cependant, que la première qui est en charbon soit très-épaisse; on introduit le feu par un des tuyaux; et l'on fait usage de soufflets au commencement pour embraser toute la masse; ces soufflets sont confectionnés en peau de chèvre.

La combustion est d'abord très-lente; il faut plusieurs heures avant d'apercevoir la flamme au haut du fourneau, mais ensuite elle devient très-active, les charbons consumés sont remplacés de temps à autre. Le feu diminue déjà à la seconde journée; on débouche alors quelques tuyaux pour faire affluer l'air dans l'intérieur du foyer; mais, d'après la relation du voya-

---

jourd'hui en Silésie; puisqu'on y traite par l'affinage immédiat dans des foyers de forge, des minérais qui ne rendent dans les hauts-fourneaux, que 25 pour cent de fonte.

Le T.

geur, la chaleur est toujours très-forte, une flamme bleuâtre dépasse de quelques pieds le bord supérieur du fourneau : on enlève au troisième jour tous les conduits d'air, dont plusieurs sont quelquefois vitrifiés à l'une de leurs extrémités.

Pour retirer le métal, on fait une ouverture à la base du fourneau après qu'il est entièrement refroidi. Le fer se trouve rassemblé en une grande masse irrégulière; il est sonore et grénu à la cassure, comme l'acier; on prétend qu'une grande partie ne peut servir, mais que le reste suffit pour indemniser du travail et des dépenses. On fait des instrumens avec ce fer aciéreux; il est dur, cassant, et doit être chauffé, à plusieurs reprises, dans des feux de forge, avant d'être mis en œuvre.

37. Ces méthodes imparfaites doivent avoir quelque ressemblance avec celles qui ont été suivies dans l'antiquité; elles nous indiquent sur-tout que les difficultés principales consistaient dans le haut degré de chaleur qui est nécessaire pour fondre les minérais de fer. Nous ignorons le mode d'opération pratiqué par les Egyptiens; il paraît résulter des écrits de Moyse, qu'ils employaient déjà des fourneaux dont la chaleur était très-forte; on ne peut savoir si ces foyers étaient conduits à la manière de ceux de Camalia, ou s'ils recevaient l'air au moyen des machines soufflantes. Les Egyptiens devaient connaître l'usage des soufflets, car il en est déjà question chez les Grecs du temps d'Homère.

L'exploitation des mines prospérait dans les îles de la Méditerranée, principalement dans les îles de Crête, d'Eubée et de Thase, avant que cet art fût transporté dans la Grèce continentale, parce que les Phéniciens avaient des relations plus directes avec

les habitans de ces îles; c'est aussi pour cette raison, que les Grecs adoptèrent si tard l'usage du fer, quoique celui d'Eubée fût recherché, avec tant d'avidité, par les autres peuples, que ses mines étaient déjà épuisées du temps de Strabon, cinquante ans avant J. C.

Les procédés de fabrication suivis par les Grecs ne nous sont point parvenus. D'après des renseignemens incertains, il paraîtrait que, pour fondre les minérais, ils les chargeaient dans les fourneaux avec les charbons et par couches alternatives, et qu'ils liquéfiaient le fer une ou plusieurs fois pour en améliorer la qualité.

On ignore même les méthodes qu'employèrent les Romains pour réduire les minérais de fer; il résulterait de plusieurs passages de Pline, qu'ils se servaient de fourneaux activés tantôt par des soufflets, tantôt par un simple tirage; ces fourneaux avaient probablement quelque ressemblance avec les *stuckofen* des temps modernes; mais ils devaient être plus défectueux encore. Ce fut donc alors une amélioration que la découverte des méthodes dites *catalanes*, à l'aide desquels on traite les minérais dans des bas fourneaux, pour en obtenir le fer ductile par un affinage immédiat; ces méthodes sont pratiquées encore dans plusieurs pays de l'Europe; leur invention doit remonter au temps florissant de l'empire romain, mais nous ne trouvons nulle part la trace de leur origine.

38. Les émigrations des peuples du nord, si fécondes en résultats divers, eurent d'abord une influence funeste sur la civilisation européenne; c'est par elles que périrent au premier siècle du moyen âge, toutes les connaissances sur la métallurgie; mais si l'on considère que les procédés suivis par les Romains, au

temps le plus florissant de leur empire, nous sont restés inconnus, on ne peut s'étonner du silence des siècles barbares sur le travail du fer, quoiqu'il prêtât son secours aux guerres interminables, qui ont ensanglanté cette époque.

Au commencement du huitième siècle, en 712, on ouvrit les mines de Styrie et de l'Erzgebirg; dans le neuvième, on vit l'art des forges s'étendre vers le nord, dans la Bohème, probablement aussi en Saxe et dans le Harz. Les usines de l'Espagne et celles des Pays-Bas prospéraient dans le dixième siècle, mais on n'aperçoit encore à cette époque aucun perfectionnement. Il paraît que l'art est resté stationnaire pendant l'espace de mille années entières. L'affinage immédiat des minérais fut généralement pratiqué, même après que les *stuckofen* furent connus.

Il n'en est pas de même de la mise en œuvre du fer; elle fut poussée presqu'à la perfection dans le douzième siècle, par les habitans des Pays-Bas. Les travaux ingénieux qu'ils exécutèrent en acier et en fer leur valurent une grande réputation.

On ignore les lieux et l'époque qui donnèrent naissance aux *stuckofen*. Il est assez vraisemblabe qu'ils furent inventés en Styrie; que de là, ils se répandirent d'abord dans l'Alsace, la Bourgogne, et plus tard ensuite dans la Saxe et la Bohême, où ils furent employés avec quelques modifications. Ce fut dans les Pays-Bas que leur hauteur s'accrut; car c'est sur les bords du Rhin, que nous trouvons lespremières traces des *flussofen*; il est probable que de là ils passèrent en Angleterre. Nous n'avons point de renseignemens écrits à ce sujet, il n'existe de cette époque aucun ouvrage sur la métallurgie, et les historiens ne

daignèrent pas accorder dans leurs livres une place au travail du fer.

D'après des témoignages, dont la véracité ne peut être révoquée en doute, on fondait en Alsace des poêles dans l'année 1490 : on devait donc y connaître les fourneaux de fusion, quoiqu'il n'en soit point question dans l'excellent ouvrage d'Agricola, publié en 1546; cet auteur ne parle que de la réduction des minérais dans les *stuckofen* et les bas fourneaux. La métallurgie du fer se trouvait alors dans l'enfance. Agricola la traitait d'ailleurs superficiellement : il est probable que les *flussofen* lui demeurèrent inconnus; d'autant plus, que l'usage de ces foyers, très-rare d'ailleurs, ne se répandit qu'avec lenteur dans les différens pays de l'Europe. En Saxe, il ne remonte pas au-delà de 1550.

On ne peut déterminer non plus l'époque et la contrée où les *flussofen* furent d'abord changés en hauts fourneaux. En Angleterre, on coula déjà beaucoup de bouches à feu en fonte de fer dans le seizième siècle (en 1547) : il est donc certain que l'on y connaissait alors ces fourneaux; mais il paraîtrait que c'est encore aux Pays-Bas que l'on fut redevable de cette invention, qui s'introduisit en Suède vers la fin du même siècle. Ce n'est qu'au commencement du dix-septième, que les hauts fourneaux furent employés dans la partie orientale de l'Allemagne, en Saxe, dans le Harz, le Brandebourg, et d'après des renseignemens positifs, le premier ne fut établi en Silésie qu'en 1721.

L'emploi du coake dans les hauts fourneaux, date de 1720. Cette découverte précieuse passa d'Angleterre en Silésie, dans l'année 1795, par les soins de

M. le comte de Reden, ministre d'état du roi de Prusse.

Ce fut en 1784, qu'en Angleterre, on fit les premiers essais d'affinage dans les fours à reverbère et au moyen de la houille; ce procédé devint depuis une source de prospérité pour ce royaume.

Nous ne pouvons fixer avec précision, l'époque où l'on a commencé à fabriquer l'acier de cémentation; il paraît que cette découverte eut lieu vers la fin du dix-septième siècle, et qu'elle est due à la Belgique ou à la France.

Il résulte de cet aperçu rapide, que les événemens les plus intéressans de l'histoire du fer, ceux qui devraient faire époque, ne se trouvent pas consignés dans les annales des peuples, et qu'on ne peut connaître avec exactitude, ni le temps ni le pays où ils prirent naissance.

39. Ce n'est que dans le dix-huitième siècle, que la sidérurgie reçut une forme scientifique. Agricola, le père de la métallurgie, lui consacre à peine quelques lignes, qui, malgré leur insuffisance, resteront comme un document historique. Mais enfin, au commencement du dernier siècle, vinrent Réaumur et Swedenborg, qui dans leurs ouvrages immortels, révélèrent toute l'importance et l'étendue de l'art des forges. Bergmann et Rinmann continuèrent dans l'autre moitié du même siècle, les recherches de leurs illustres prédécesseurs; ils répandirent les premiers rayons de lumière sur la nature du fer et sur les méthodes que l'on emploie pour l'obtenir en grand. D'autres efforts heureux ont contribué à augmenter ces connaissances. Parmi les hommes recommandables qui ont écrit sur cette matière, nous placerons à juste

titre, les noms *des Jars, des Gerhard, des Ducoudray, des Hermann, des de Peyrouse, des Quanz, des Garney, des de Marcher*, etc.

Nous allons donner ici une notice des ouvrages que l'on peut consulter, nous réservant de citer pour chaque objet spécial les écrits qui s'y rapportent.

D. J. F. Reitmeyer, Geschichte des Bergbaus und Hüttenwesens bei den alten Vœlkern. Gœttingen. 1785.

L. F. Launay, Minéralogie der Alten, oder Darstellung der Erzeugnisse des Mineralreichs, wie sie den Alten bekannt waren. Prag. 1802.

Gmelin, Beitræge zur Geschichte des deutschen Bergbaues. 1783.

Gatterer, Weltgeschichte in ihrem ganzen Umfange, Goettingen. 1785. Première partie, depuis Adam jusqu'à Cyrus.

Georgei Agricolæ, de re metallicâ, libri XII, Basileæ. 1546. Il a paru plusieurs éditions de cet ouvrage en 1556, 1558, 1561, 1657, etc.

RÉAUMUR, l'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu, ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi fins que de fer forgé. Paris. 1722.

Emanuelis Swedenborgu, Regnum Subterraneum, sive minerale de ferro, deque modis liquationum ferri per Europam passim in usum receptis, deque conversione ferri crudi in chalybem, de venâ ferri et probatione ejus: pariter de chimicis præparatis et cum ferro et vitriolo ejus factis experimentis, etc. Dresdæ et Lipsiæ. 1734.

Sven Rinmann, fœrsœk till jœrnets historia, med tillœmpning fœr slœgder och handwerck. Stockholm.

1782. Cet ouvrage a été traduit en allemand avec notes par E. J. B. KARSTEN. *Lignitz.* 1814 *et* 1815.

G. JARS, voyage métallurgique.

C. E. GELLERT, Anfangsgründe zur métallischen chemie. Leipzig. 1751, 1776.

J. G. WALLERII, elementa metallurgiæ, speciatim chemicæ. Holm. 1768.

J. A. CRAMER, Anfangsgründe der metallurgie Blankenburg et Quedlinburg. 1774, 1777.

H. PINI, De venarum metallicarum excoctione. Vindob, vol. Ier., 1780, II, 1781.

J. F. GMELIN, chemische Grundsaetze der Probir und Schmetzkunst. Hall. 1786.

J. A. SCOPOLI, Anfangsgründe der metallurgie. Manheim. 1789.

W. A. TIEMANN, systematische Eisenhüttenkunde. Nürenberg. 1801.

J. J. F. WÆHLER, Grundriss der Eisenhüttenkunde. Berlin. 1806.

W. A. LAMPADIUS, Handbuch der allgemeinen Hüttenkunde (le 4e. volume est consacré à la sidérurgie). *Gœttingen.* 1801, 1810.

T. L. HASSE, Grundlinien der Eisenhüttenkunde. Leipzig. 1801.

F. A. V. MARCHER, Beitræge zur Eisenhüttenkunde. Leipzig. 1801, 15 volumes, *Klagenfurth.* 1805, 1812.

F. A. V. MARCHER, Notizen und Bemerkungen über den Betrieb der Hohœfen und Rennwerke; 1 vol., *Klagenfurth.* 1808, 1811.

J. H. HASSENFRATZ, la sidérotechnie ou l'art de traiter les minérais de fer, pour en obtenir du fer, de la fonte ou de l'acier; tom. I, IV. Paris. 1812.

Traité du fer et de l'acier, contenant un système

raisonné sur leur nature, la construction des fourneaux, les procédés suivis dans les différens travaux des forges, et l'emploi de ces deux métaux. Paris. 1804.

ABT, *Versuch eines sistemalisches Verzeignisses der Schriften und Abhandlungen vom Eisen, als Gegenstand des Naturforschers, Berg und Huttinmanns, Künstlers und Handwerkers, Kaufmanns, Staatshaushælters und Gessetzgebers. Berlin.* 1782.

J. G. L. BLUMHOF, *vollstændige systematische Litteratur vom Eisen, in mineralogischer, chemischer technologischer, œkonomischer, cameralistischer, und medicinischer Rücksicht. Brunswick.* 1803.

40. La préparation du fer est devenue la branche d'industrie la plus essentielle, par les bénéfices immédiats qu'elle procure aux maîtres de forge, par le bien général qu'en retire la société et par les avantages qu'elle offre aux gouvernemens; nulle autre n'occupe tant de bras, ne produit une circulation d'argent si active et si constante, n'exerce une influence si directe sur la richesse de l'état et l'aisance du peuple. Il est de l'intérêt particulier de tout gouvernement de la favoriser, de la soutenir par les mesures les plus efficaces et de la porter au dernier degré de prospérité, soit par des dispositions administratives *, et des relations exté-

* Par des réglemens particuliers sur les usines; par des lois prohibitives de l'introduction des fers étrangers; par des prix, des brevets et des priviléges qu'il doit accorder pour les nouvelles inventions; par des avantages qu'il faut faire aux ouvriers étrangers; par des ordonnances qui doivent régler l'estimation des bois; par l'érection de lieux d'entrepôts pour la commodité du public et du vendeur; par la construction et l'entretien de routes et de canaux pour faciliter les transports; enfin par un grand développement donné à l'emploi du fer.

Note de l'Auteur.

rieures établies pour procurer le débit des marchandises, assurer le sort du fabricant, et ne pas le forcer de vendre à trop bas prix; soit par des secours immédiats qu'il doit accorder dans des circonstances extraordinaires; soit enfin par d'autres sacrifices pour introduire de nouveaux procédés, faire des essais, encourager, éclairer les propriétaires, en courant lui-même le risque des innovations et des entreprises hasardeuses.

Le fisc sera amplement dédommagé de ces avances par les impôts de tous genres, qu'il percevra sur les établissemens, les ouvriers et le personnel nombreux dont l'existence se rattache au travail du fer. Mais ce qui doit fixer particulièrement l'attention du gouvernement, ce sont les avantages si précieux qui en résultent pour l'économie rurale, pour les autres branches d'industrie, pour sa sûreté et sa force extérieure.

41. L'Angleterre occupe le premier rang parmi toutes les nations chez lesquelles la métallurgie du fer est dans un état prospère. Elle se distingue particulièrement sous le rapport de ses procédés technologiques, de la perfection des machines et de l'immense production qui en est le résultat; elle est devenue l'école du sidérurgiste, quoiqu'elle doive au continent l'invention des hauts fourneaux, du fer-blanc et de l'acier de cémentation.

L'esprit entreprenant des anglais s'est porté avec une égale activité vers la préparation du fer, la fabrication des objets coulés, du fer-blanc, de l'acier et surtout de l'acier fondu. La sidérurgie a pris chez eux un développement gigantesque; ils ont montré aux autres peuples, sur quel fondement doit s'asseoir la pros-

périté industrielle d'une nation. L'Angleterre connaissait le fer avant le cuivre: elle semblait donc prédestinée à devenir la terre classique d'une industrie qui devait l'élever un jour à ce haut période de richesse et de force extérieure.

Déjà, vers la fin du seizième siècle, les forêts se dépeuplaient dans ce royaume; pour en prévenir la ruine totale, on défendit l'établissement de nouvelles usines. Au commencement du dix-septième, on fit des essais avec la houille, pour la substituer au charbon de bois. Charles Ier. donna à trois personnes, en 1627, un privilége qui devait durer 14 ans; il les autorisait exclusivement à fondre les minérais de fer avec de la houille. Il paraît que cette entreprise ne réussit point alors, car ce n'est qu'au commencement du dix-huitième siècle que l'on parvint à la mettre en exécution; et l'affinage de la fonte, au moyen du charbon de terre, n'obtint un succès complet qu'en 1784.

La première ordonnance du gouvernement, relative aux usines à fer, remonte à 1354. La production annuelle du pays est estimée par M. Villefosse, à 5 millions de quintaux.

En Russie, la fabrication du fer est devenue depuis 50 ans, un objet important. On est étonné du mouvement général de perfectionnement imprimé à ce vaste empire et en particulier de ses progrès dans cette branche d'industrie.

Si la richesse minérale du pays favorise les efforts de ses habitans, le mérite du gouvernement n'en est point diminué, puisqu'il sait les encourager. La Russie nous offre aujourd'hui des établissemens qui peuvent rivaliser avec ceux des anglais; et quoique le travail

du fer y soit encore tout récent, on y trouve toutes les améliorations essentielles qu'on doit à l'Angleterre.

M. Villefosse fixe la production annuelle, y compris celle de la Sibérie, à 1,675,679 quintaux; mais il est probable que cette estimation se trouve beaucoup au-dessous de la réalité.

La Suède tient le troisième rang parmi les pays productifs en fer. La nature l'a dotée, sous ce rapport, avec tant de libéralité, qu'elle laisse peu de chose à faire au génie de l'homme pour augmenter et améliorer les produits sidérurgiques. C'est pour cette raison que les procédés n'y ont pas atteint un très-haut degré de perfection; quoique ce soit la patrie des métallurgistes célèbres qui, les premiers, aient donné une forme scientifique à l'art des forges, cependant son exécution pratique n'y fut jamais à la hauteur des lumières répandues dans leurs écrits, parce que les excellens minérais dont ce pays est pourvu avec une extrême profusion, ne font pas sentir le besoin de perfectionner le travail. Mais on peut citer comme modèles ses mesures administratives, pour la protection d'une industrie qui forme, pour ainsi dire, la base de son existence.

La Suède produit annuellement un demi-million de quintaux de fer, et la Norwége 135,000, dont une grande partie est exportée en Allemagne, en Angleterre, en France, en Espagne, en Portugal.

La France a fait des progrès dans certaines parties de la sidérurgie; mais dans d'autres elle est restée en arrière. Ne pouvant produire assez de fer pour ses besoins multipliés, elle en importe de l'Allemagne et de la Suède. La qualité de ses fers est extrêmement variable, vu la grande étendue de ce royaume.

Le gouvernement vient seulement de s'apercevoir de toute l'importance de l'art des forges. On doit s'attendre qu'il fera ses efforts pour naturaliser dans ce pays les nouvelles découvertes.

La monarchie autrichienne possède d'excellens minérais en Bohême, dans la Hongrie, le Tyrol, la Styrie, la Carniole et dans presque toutes ses provinces; mais la manière de travailler le fer y est susceptible d'une foule d'améliorations, qui cependant seront ajournées long-temps encore, à cause de circonstances locales, et en raison des difficultés que l'on rencontre quand on entreprend de changer la routine établie, pour lui substituer des procédés nouveaux. La qualité supérieure des minérais, la facilité de les réduire sont comme en Suède, des causes qui retardent le perfectionnement des méthodes.

L'Autriche produit annuellement, selon M. Villefosse, 1,010,400 quintaux de fer. Mais cette estimation doit être augmentée depuis le traité de Paris.

L'Espagne était célèbre pour ses fers dans les temps anciens; elle les exportait au loin, même encore dans le dixième siècle. De nos jours, il ne lui reste que la réputation de ses produits sous le rapport de leur qualité. Ils sont très-faibles, et insuffisans pour ses besoins. M. Villefosse les estime à 180,000 quintaux. Le gouvernement, en négligeant toutes les ressources du pays et les moyens d'amélioration, a consommé la ruine de cette branche d'industrie.

Il est inutile de faire mention du Portugal; son administration antérieure, jointe à ses relations présentes, ont paralysé les efforts industriels de ses habitans; tous les fers qu'ils consomment sont importés de la Suède et de l'Angleterre.

La production annuelle du fer dans le royaume de Prusse, a été considérablement augmentée par le traité de Paris. On ne peut la fixer avec beaucoup de précision. L'art des forges a pris un développement extraordinaire en Silésie; cette province doit sa prospérité croissante à l'activité et aux vues profondes de deux ministres d'état, Heinitz et Reden. Elle doit au dernier des établissemens qu'on croyait ne pouvoir rencontrer qu'en Angleterre. La Silésie, qui en 1780 importait encore des fers de la Suède, présente aujourd'hui une exportation annuelle de 100,000 quintaux. Les usines de la Marche et de la Westphalie sont très-nombreuses; leurs productions sont renommées sous le rapport de la qualité. Le gouvernement, convaincu de l'importance de cette branche d'industrie, saura la protéger par des mesures efficaces.

Le royaume de Hanovre possède d'excellentes forges, mais leurs produits ne suffisent pas à ses besoins. Il en est de même de la Bavière et du Wurtemberg.

Nous avons peu de renseignemens sur l'extraction du fer en Afrique et en Asie: les peuples divers qui habitent ces deux parties du monde achètent ce métal, ou s'ils l'obtiennent de leur travail, c'est par les procédés les plus imparfaits.

L'Amérique ne connaissait pas le fer, avant qu'elle fût découverte par les Européens; le cuivre y était employé pour les instrumens et les armes; les habitans occupaient par conséquent un des derniers rangs dans la civilisation.

L'Amérique méridionale produit, même aujourd'hui, très-peu de fer; mais les Etats-Unis ont donné une grande extension à sa préparation; nous leur paye-

rons ici un juste tribut d'éloges. En 1730, on construisit les premières forges dans la Pensylvanie, la Virginie et le Maryland; en 1737, on fit dans le parlement la motion de faire venir la fonte de l'Amérique pour épargner les bois de l'Angleterre, mais elle fut rejetée; et les anglais, jaloux déjà de la prospérité de cette colonie, sollicitèrent et obtinrent, en 1750, un acte du parlement, pour protéger l'exportation de leurs fers en Amérique et pour y empêcher la construction de nouvelles usines. Malgré ces entraves, le travail du fer y prit de jour en jour plus d'extension. On peut en estimer la production annuelle à 500,000 quintaux; elle augmente continuellement, et le temps n'est pas éloigné, où l'on verra les fers de l'Amérique débarqués et vendus dans les ports du continent européen.

42. En étudiant les propriétés physiques du fer, et particulièrement la manière dont il se comporte dans les températures élevées, on doit le considérer dans ses trois états métalliques; mais ses propriétés chimiques en sont indépendantes, parce qu'on ne doit examiner ses combinaisons avec d'autres corps qu'en le prenant lui-même dans un état de pureté parfaite, et que la fonte ou l'acier sont des composés de fer avec d'autres substances. Le mot de fer signifiera donc du *fer forgé le plus pur*.

PREMIÈRE SECTION.

PROPRIÉTÉS DU FER.

DE LA COULEUR DU FER.

43. LA surface du fer est exposée à de promptes altérations, occasionnées par l'influence de l'air humide. Pour juger de sa couleur, il faut le nettoyer ou mieux encore examiner l'aspect de sa cassure lorsqu'elle est récente ; car la couleur du fer frotté ou poli, varie selon la manière dont l'opération a été faite; pour en avoir une idée juste, c'est donc la cassure que nous consulterons.

Le fer brut est toujours couvert d'une enveloppe grise noirâtre. On s'est servi de cette circonstance pour adopter une couleur faussement appelée *gris de fer ;* elle ne correspond qu'à la couleur altérée de ce métal, dont la surface peut devenir aussi, dans certaines circonstances, jaune rougeâtre ou passer au rouge brunâtre.

44. La véritable couleur du fer est le gris clair avec l'éclat métallique, mais elle est soumise à beaucoup de variations, sous le rapport de son brillant et de son intensité. Lorsque le fer est à la fois blanc et brillant, ou terne et foncé en couleur, c'est un indice de sa mauvaise qualité. Le contraire a lieu, lorsqu'il est blanc et terne, ou brillant et foncé en

couleur. Une couleur claire et légérement bleuâtre avec un éclat très-vif, sont les signes auxquels on reconnaît le fer brûlé ; si dans ce cas, elle tire sur le blanc, c'est un fer cassant à froid ; le fer rouverin se reconnaît au contraire à sa couleur foncée presque dépourvue d'éclat ; lorsqu'elle se rembrunit davantage et qu'elle devient encore plus terne, elle est l'indice d'un fer mou et cassant ou d'un fer mal affiné.

45. L'acier a une couleur blanche grisâtre, approchant quelquefois du blanc et jamais du bleu. Il jouit de l'éclat métallique comme le fer, mais son brillant n'est pas aussi vif *. La couleur seule ne suffirait pas pour les distinguer l'un de l'autre, il faut y joindre encore la texture.

46. Le fer cru est très-variable dans sa couleur, parce que c'est un composé de fer et d'autres corps dont les proportions et le mode de combinaison ne sont pas constans. La diversité de sa manière d'être provient de la nature de ses minérais ou de leur réduction. On en distingue généralement deux espèces, le blanc et le gris ; car, en employant les mêmes procédés, on obtient avec certains minérais de la fonte blanche, avec d'autres de la fonte grise. La couleur de la première est le blanc d'argent, avec un brillant parfait ; en diminuant d'éclat, elle passe au gris clair par une infinité de nuances. La deuxième est un gris foncé ; elle possède aussi un éclat métallique parfait et passe de même par une infinité de nuances et avec un éclat toujours décroissant au gris

---

(*) Il ne faut pas oublier qu'il n'est question ici que de l'aspect de la cassure et non pas du brillant qu'on peut donner à l'acier au moyen du poli.

Le T.

clair. Cette espèce de fonte devient blanche dans certaines circonstances, mais son éclat ne peut alors égaler entièrement le brillant de la fonte blanche naturelle. Malgré cette différence, il est impossible de les distinguer, à moins de connaître les procédés qu'on a suivis pour les obtenir : l'une et l'autre peuvent montrer dans leur cassure la couleur blanche et la grise à la fois, ce qui leur donne un aspect tacheté ; on les appelle alors *fontes mêlées* ou *truitées*.

47. Dans beaucoup d'objets fabriqués, il est nécessaire de faire ressortir la couleur véritable du fer. Pour le dégager de son enveloppe grise noirâtre, on le lime, on le passe sur la meule, on le décape. Pour augmenter l'éclat de la surface ainsi préparée, on l'écure avec du sable, des scories, etc. Si l'on veut lui donner un brillant parfait, on la frotte avec des corps durs, tels que l'agathe, la sanguine et l'acier, et ensuite avec des poudres naturelles ou confectionnées ; la première opération s'appelle le *poli brut* ; la deuxième, le *poli fin*.

DE LA TEXTURE DU FER.

48. On juge en général de la qualité du fer par sa texture, sa couleur et son éclat. Il est donc nécessaire de bien connaître le tissu de ce métal, et on ne peut l'étudier que sur des cassures récentes.

Lorsque le fer est très-pur, sa texture est grenue. Si l'on veut l'examiner, il importe de tenir compte de la grosseur des barres ; en négligeant cette attention, on peut tomber dans les erreurs les plus graves : le fer carré ne doit pas avoir moins d'un pouce, et le fer plat, moins de six lignes d'épaisseur.

Des grains qui n'ont aucune forme déterminée, qui ne sont ni à lames ni à facettes; qui, par leur pointes déliées, annoncent une prédisposition nerveuse, et décèlent, pour ainsi dire, l'action de la force extérieure qui les a étirés et séparés. Ces grains, dis-je, sont un indice certain du fer le plus tenace, qui, étiré en barres minces, présentera une texture parfaitement nerveuse, dont les filamens seront blanchâtres et très-alongés, parce qu'il faut une grande force pour en déterminer la rupture (*).

La cassure lamelleuse ou à facettes plus ou moins grosses, est toujours un signe de mauvais fer. Il est brûlé, si le tissu est à lames en forme d'ardoises; cassant à froid, si les lames sont très-minces et qu'elles se détachent comme des écailles. Un fer mal affiné se reconnaît aux facettes entremêlées de nerf **.

* Pour examiner une cassure avec beaucoup de soins, il faut se placer à l'ombre et présenter la cassure aux rayons du soleil. Les grains paraîtront alors arrondis et surmontés chacun de plusieurs pointes très-fines. Si la cassure n'était pas toute récente, on ne verrait que des grains ronds sans pointes, mais ils suffiraient déjà pour faire juger de la nature du fer. Nous rencontrons rarement des fers d'une aussi bonne qualité dans nos forges, même dans celles qui jouissent de la meilleure réputation.

Le T.

** On voit très-souvent des fers d'une grainure extrêmement fine, grise et terne; ils sont tellement répandus dans le commerce, que Réaumur en a fait deux classes distinctes, qui, d'après lui, ne diffèrent que par le plus ou le moins (Voyez son 5e. mémoire, page 158 et 159). Ces fers doivent être rangés parmi les fers incomplétement affinés, comme les fers à facettes entremêlés de nerfs : ceux-ci ont perdu leur carbone, mais ils renferment encore des substances étrangères; les autres contiennent encore du carbone en excès, ces derniers peuvent être, malgré cela, d'une excellente qualité, lorsque les grains fins et aciéreux sont mê lés de grains à pointes ou crochus, qui annoncent une dispo-

Les deux dernières espèces passent de l'une à l'autre par une infinité de nuances; leur qualité s'améliore à mesure que les facettes font place à la texture nerveuse, mais les filamens ne seront jamais ni aussi longs ni d'une couleur aussi claire que ceux des fers forts dont la cassure n'offre que des grains fins surmontés de pointes déliées. Les fibres nerveuses du fer rouverin ou brisant à chaud, sont toujours assez longues; cette espèce peut se rapprocher ou des fers à facettes ou des fers forts, selon qu'elle est plus ou moins entachée du défaut qui la caractérise. Ceux-ci peuvent aussi se rapprocher entre eux par des transitions insensibles. Le plus mauvais est celui qui, forgé en barres très-minces, ne montre aucune trace de nerf.

49. Le fer en grosses barres ne présente jamais de nerf; plusieurs métallurgistes en ont conclu que les filamens nerveux étaient un résultat du battage. Bien que cette assertion ne soit pas sans justesse, sous un

---

sition nerveuse; ils sont beaucoup moins bons, lorsque les grains fins sont très-ternes, foncés en couleur et entremêlés de larges facettes. Les fers, selon leur nature, sont plus ou moins disposés à prendre cette grainure, elle appartient sur-tout aux fers forts et durs. Mes propres expériences m'ont prouvé que, si on la rencontre dans les fers forts et mous ou médiocrement durs, la cause secondaire à laquelle il faut l'attribuer est toujours la même, c'est le manque d'air, qui provient, soit de l'imperfection des machines soufflantes, soit du travail de l'ouvrier. Les affineurs appellent entre eux, avoir la *main chaude*, cette mauvaise habitude de ne pas présenter le fer suffisamment à l'action du vent. On peut le corriger alors, en lui donnant plusieurs chaudes suantes; étiré ensuite en barres minces, il peut montrer un nerf très-blanc. Il n'en est pas de même de celui qui a manqué d'air et de chaleur à la fois par le mauvais état des soufflets. On le reconnaît à son grain terne qu'il conserve même sous le plus petit échantillon.

Le T.

certain rapport, il est cependant très-sûr que tous les fers ne sont pas susceptibles de prendre du nerf, lors même qu'on les étire en barres très-minces. Cette disposition de changer leur grainure en un tissu filamenteux est donc inhérente à leur nature.

Le fer dur et tenace, celui qui résiste le mieux à la force extérieure, conserve aussi le plus long-temps sa texture grenue. Le fer mou devient fibreux plus tôt; ses grains se laissent aplatir avec plus de facilité. De leur force de cohésion dépend aussi celle des filamens nerveux, leur longueur et l'effort qu'il faut employer pour les rompre. Dans celui qui ne montre aucun nerf, il y a si peu de liaison entre les grains, que ces derniers, au lieu de s'étendre en fibres, sont aplatis seulement, et forment des lames qui, manquant aussi de cohésion entre elles, ne sont capables que d'une faible résistance. C'est pourquoi, les fers dont la cassure présente des lames plates ou du gros nerf noir, appartiennent à la même classe et peuvent se rapprocher par des transitions insensibles.

5o. De la texture du fer dépend sa compacité; c'est en vertu de cette compacité qu'il peut recevoir un poli parfait. Le fer fort et dur, dont la cassure présente un grain uniforme, est le meilleur sous ce rapport; le plus mauvais, c'est le fer mou, le fer à facettes, qui prend facilement des fibres courtes et grosses. Le fer dont la cassure est à lames plates, peut acquérir également un très-beau poli, mais sa mauvaise qualité en fait restreindre l'emploi.

Malgré tous les soins que l'on donnerait à la préparation de ce métal, il est impossible d'éviter les solutions de continuité que l'on rencontre toujours dans le tissu des meilleurs fers. Les petites défectuosités

de ce genre, s'appellent *cendrures;* elles se manifestent au polissage par des grains ou taches noires; lorsqu'elles sont plus grandes, on les désigne ordinairement sous le nom de *pailles*, de *moines*, etc. etc. Ces accidens, fâcheux quant au poli, sont en quelque sorte un indice de la bonne qualité du fer.

51. La texture de l'acier est également grenue, mais elle se distingue de celle du fer, en ce que ses grains ont plus de finesse, qu'ils sont presqu'imperceptibles, et que sa cassure est compacte et unie. L'acier est d'autant meilleur que son grain est plus égal et plus serré. Une texture à grains distincts et bleuâtres, et l'existence de filamens nerveux dans l'acier, sont toujours une preuve de la présence du fer et un indice de mauvaise qualité. Sa grande dureté l'empêche de montrer du nerf lors même qu'on l'étire en barres très-minces.

52. La texture de la fonte grise est très-variable; elle passe d'un tissu grenu à une cassure unie. Ce qui la caractérise, c'est que la couleur foncée s'éclaircit à mesure que les grains se resserrent et qu'ils deviennent moins appréciables: ils disparaissent entièrement dans la sous-espèce blanche de la fonte grise, sa cassure est alors plus ou moins esquilleuse. La cassure conchoïde semble faire la transition entre les deux espèces de fer cru. Les grains plats et écailleux sont le signe d'un haut degré d'impureté.

La fonte blanche passe de la cassure rayonnante à la cassure esquilleuse, et de cette dernière à la cassure compacte et conchoïde: la couleur blanche disparaît avec la texture rayonnante.

53. Comme la fonte est un composé très-variable de fer et d'autres substances, les inductions que l'on

voudrait tirer de sa couleur et de sa cassure, relativement à sa qualité, pourraient être très-fausses. Il y a des cas où la fonte blanche lamelleuse mérite la préférence, et d'autres où c'est la fonte grise grenue.

54. Le tissu de l'acier, la finesse de son grain, et la propriété de ne point prendre de nerf le rendent plus compacte que le fer et plus convenable aux ouvrages polis, dont le brillant est la chose essentielle. La sous-espèce blanche de la fonte grise et la fonte blanche naturelle, sont susceptibles aussi de prendre un plus haut degré de poli que le fer forgé. Il n'en est point de même de la fonte grise proprement dite; elle manque de compacité et ne peut être employée avec avantage pour les objets polis.

DE LA PESANTEUR SPÉCIFIQUE DU FER.

55. La pesanteur spécifique du fer a été observée avec beaucoup de soins par plusieurs métallurgistes, principalement par Rinmann; cependant le résultat de leurs recherches ne peut servir à distinguer le fer de l'acier et de la fonte; il prouve seulement que l'acier est en général plus lourd que le fer forgé, celui-ci plus que la fonte blanche et celle-ci plus que la fonte grise; mais il existe des fers forgés dont la pesanteur spécifique surpasse celle de l'acier, comme aussi certains aciers qui sont plus légers que le poids moyen des fers ductiles. On trouve même de la fonte blanche, dont la pesanteur s'approche de celle du fer forgé. Des anomalies semblables se rencontrent aussi dans les différentes espèces de fers crus.

On peut adopter pour termes moyens des pesan-

teurs spécifiques des fers et de leurs poids absolus, les nombres suivans.

DÉSIGNATION des fers.	PESANTEUR spécifique.	POIDS ABSOLU du mètre cube.
Acier................	7,795	k. 7795
Fer forgé...........	7,700	7700
Fonte blanche......	7,500	7500
Fonte grise.........	7,200	7200

Ces nombres offrent, dans la pratique, une exactitude suffisante pour servir à déterminer le poids des objets d'après leur volume.

DE L'ADHÉSION DU FER.

56. L'adhésion, c'est-à-dire, la force avec laquelle un corps solide s'attache à un liquide quelconque, n'a pas encore été soumise à des recherches assez approfondies; quoique son utilité ne puisse s'apercevoir dans l'état actuel de nos connaissances, il ne faut point négliger les observations existantes; on en tirera peut-être un jour des données sur la qualité des substances liquides ou solides. Guyton-Morveau détermina l'adhésion de plusieurs corps, en faisant confectionner de chacun d'eux, un plateau rond d'un pouce de diamètre qu'il posa sur le mercure pour le détacher ensuite. Les poids nécessaires pour enlever le plateau étaient :

Pour	l'or............	446 grains.
—	l'argent.......	429
—	l'étain.........	418
—	le plomb......	372
—	le bismuth....	317
—	le zinc.........	204
—	le cuivre......	140
—	l'antimoine ..	126
—	le fer..........	115
—	le cobalt......	8

L'adhésion ne paraît dépendre, ni de la pesanteur spécifique, ni de la ténacité du corps solide. Des essais réitérés faits avec des fluides d'égale pesanteur pourraient donner des renseignemens utiles sur cet objet.

DE LA DURETÉ DU FER.

57. On entend par dureté, la résistance opposée à l action d'une force extérieure par les particules d'un corps sollicitées isolément; elle se manifeste lorsqu'on veut rayer, couper, forer et en général quand les particules d'un corps s'opposent successivement aux progrès d'une force qui tend à s'interposer entre elles. On peut même la reconnaître avec le marteau, si toutefois il s'agit seulement de faire céder le point même soumis au choc, et s'il n'est pas question de la résistance du corps entier dans le sens de son épaisseur.

La dureté du fer forgé est soumise à beaucoup de variations : on ne peut d'ailleurs la déterminer avec précision, parce que nous n'avons aucun moyen de mesurer ses différens degrés. Le fer qui reçoit très-facilement

l'impression du marteau, est d'ordinaire flexible et tenace; mais, quoique d'une qualité excellente, il ne peut servir avantageusement à tous les usages : il faut lui préférer en général celui qui est tenace et dur à la fois. On divise le fer forgé en fer dur et fer mou; la texture sert de base à ce classement (48, 49, et les notes).

Le fer fort et mou prend un nerf clair, même quand il est en barres assez grosses; la couleur de ses filamens tient le milieu entre le blanc d'argent et le gris de plomb, tandis que le nerf du fer fort et dur est d'un blanc argentin, et ne se montre que dans les plus petits échantillons; mais le fer dont le nerf est court et d'une couleur foncée intermédiaire entre le gris de plomb et le gris noir, n'offre qu'une faible résistance; il est mou et cassant à la fois *. Les fers mal affinés et ceux que leurs minérais rendent cassans à froid, possèdent beaucoup de dureté; leur cassure est à lames ou à facettes

Ce qui distingue particulièrement tous les fers forgés de l'acier, c'est qu'ils ne se durcissent pas étant chauffés au rouge et plongés dans l'eau.

58. L'acier est plus dur que le fer; on ne peut le rayer ni le couper avec autant de facilité, mais il doit être tenace en même temps. Une propriété caractéristique, qui le rend précieux pour une foule d'usages, c'est d'acquérir une grande dureté, étant re-

---

* En France on divise les fers en fer fort, fer métis et fer tendre, selon leur degré de résistance. Les fers des deux premières classes peuvent être durs ou mous; ceux de la dernière sont durs et cassans à froid, et très-tendres à chaud.

Le T.

froidi subitement, après avoir été chauffé au rouge : c'est ce qu'on appelle *prendre la trempe*, parce qu'on le plonge ordinairement dans l'eau ou dans un autre liquide. L'acier qui passe avec lenteur de la chaleur rouge à la température ordinaire, participe aux propriétés du fer forgé le plus dur; mais l'acier trempé doit rayer le verre et résister aux meilleures limes.

59. La fonte grise est moins dure que la fonte blanche; les sous-espèces grisâtres de cette dernière se laissent à peine entamer par la lime et résistent toujours au foret; tandis que les fontes grises noirâtres sont tellement douces, qu'elles reçoivent les impressions du marteau, qu'elles peuvent être limées, forées et coupées au ciseau avec une grande facilité. Plus la couleur grise s'éclaircit, plus la dureté augmente; c'est une règle générale dont les exceptions tiennent à des causes particulières que nous développerons plus tard. La sous-espèce blanche de la fonte grise possède une dureté aussi forte au moins que celle de l'acier: pour la rendre plus propre à la fabrication des objets coulés, on a essayé de l'adoucir; nous parlerons par la suite de cette opération.

60. Un corps est aigre et cassant, lorsqu'une fente produite par une cause quelconque dans ce corps se prolonge au-delà du point où la force exerçait son action. L'aigreur paraît accompagner la dureté, mais elle n'en est point une conséquence nécessaire; il y a des corps souples qui sont très-durs.

Le meilleur fer est celui qui possède une grande dureté sans aigreur. Le fer tendre ou cassant à froid, est dur et aigre; mais si tous les fers tendres sont durs et aigres, il ne s'ensuit nullement que tous les fers durs et aigres doivent être rangés dans la classe

des fers tendres. Les fers forts deviennent aigres par le martelage à froid et l'acier, par la trempe; mais ils perdent ce défaut en recevant une chaude, tandis que le fer tendre reste toujours aigre.

61. Le fer, l'acier et la fonte se ramollissent par l'effet de la chaleur, comme les autres corps de la nature. Des fers qu'on ne pourrait trancher à moins d'employer une force considérable, se laissent couper facilement avec les cisailles, étant chauffés au rouge. La fonte même peut être sciée alors comme le bois et avec les mêmes outils.

DE LA TÉNACITÉ DU FER.

62. Nous appellerons ténacité d'un corps, la résistance que toutes ses parties sollicitées à la fois peuvent opposer à une puissance extérieure qui tenterait d'en rompre la continuité *. Cette résistance peut se manifester de différentes manières : soit comme ductilité,

---

* En éprouvant la ténacité ou la résistance du fer, toutes ses parties sont sollicitées à la fois; elles le seront au même degré, lorsque la force qui tend à le rompre agit dans le sens de la longueur d'une barre, et inégalement lorsqu'elle fait un angle avec cette direction. La dureté et la ténacité des corps dépendent de leur force de cohésion; mais il paraît que, selon la forme ou l'arrangement des molécules, elle est modifiée dans les corps durs et cassans d'une autre manière que dans les corps durs et tenaces: dans ceux-ci, les molécules peuvent se déplacer, glisser les unes sur les autres sans cesser de s'attirer; dans les corps durs et cassans, la force de cohésion peut être toute aussi grande; mais, par une raison que nous ignorons et qui tient probablement à l'arrangement des molécules ou à la forme de leurs groupes, il ne faut qu'un léger déplacement de ces molécules pour les sortir de leur sphère d'activité.

Le T.

élasticité, malléabilité, flexibilité; soit comme roideur. Un corps est ductile lorsqu'il s'alonge, étant sollicité par deux forces agissant en ligne droite et dans une direction opposée, pour séparer ses parties. Si les deux forces dirigées en sens opposé compriment le corps, on en éprouve la malléabilité. Si la force fait un angle avec la direction suivant laquelle les molécules tendent à se rapprocher, le corps résistera, ou par sa flexibilité ou par sa roideur. Enfin, s'il reprend sa forme première après que la force extérieure aura cessé son action, il sera doué de plus ou moins de ressort ou d'élasticité.

Il résulte des recherches de plusieurs naturalistes, que le fer surpasse tous les autres corps en ténacité; mais on ne connaît pas au juste l'influence que les différentes modifications du fer ductile peuvent exercer sur cette précieuse propriété. Suivant l'usage que l'on veut faire de ce métal, on donne la préférence tantôt au fer fort et dur, tantôt au fer fort et mou: le premier paraît être plus ductile et plus fort, le deuxième, plus malléable; car les diverses modifications de la ténacité des corps ne sont pas entre elles en proportion: il existe des substances qui possèdent un assez haut degré de résistance, sans être ni extensibles ni malléables.

63. *TABLEAU comparatif de la ténacité du fer et de celle de plusieurs métaux.*

DÉSIGNATION DES MÉTAUX.	D'après Muschenbroek.	D'après Thomson.	D'après. Guyton.	D'après Sickingen.
Fer..........	1,730	549,25	510,2	60,75
Cuivre.......	538	302,26	280,7	33, »
Platine......	»	274,00	254,7	28, 5
Argent.......	1,156	187,15	173,8	20, 7
Or...........	578	150,07	139,3	16, 5
Etain........	188	31,00	32,1	»
Bismuth.....	92	20,01	» »	»
Plomb.......	25	18,04	11,5	»
Zinc.........	83	18,20	101,7	»
Antimoine..	30	7 »	»	»

Les nombres représentent les poids qui ont fait rompre les barres métalliques; ils représentent donc les rapports des ténacités. Les expériences de MM. Thomson, Morveau et Sickingen, sont très-concordantes; les deux premiers ne diffèrent essentiellement que pour le zinc, ce qui doit provenir de la qualité variable de ce métal que l'on peut obtenir ou forgé ou fondu. Quant aux résultats de Muschenbroek, ils s'écartent en tous points de ceux qui ont été obtenus par les trois auteurs précités, parce qu'il n'a considéré que l'épaisseur des fils, sans avoir égard à leur longueur.

64. On a fait très-peu d'expériences comparatives sur la ténacité des différentes espèces de fer forgé. C'est à Muschenbroek que l'on doit quelques essais

de ce genre. Il a pris pour chaque épreuve un fil de 0,1 de ligne de diamètre, et après en avoir fixé d'une manière invariable les deux extrémités, il l'a rompu par des poids suspendus à son milieu.

DÉSIGNATION. DES FERS.	POIDS EMPLOYÉS.
Fer d'Espagne	800 k.
Fer de Suède	870
Idem	670
Fer d'Osmonde	750
Idem	670
Fer d'Allemagne	910
Idem	670
Acier non trempé	1240
Idem	1080
Acier fortement trempé	1120
Acier médiocrement trempé	1350
Acier faiblement trempé	1500

On voit par ce tableau que la ténacité du fer est très-variable. Il faudrait donc faire de bonnes épreuves sur la force de certains fers, bien connus sous le rapport de leurs autres propriétés *.

* D'après des expériences plus récentes, faites par MM. Telford, Brunton et Brown, il paraît que le fer qui aurait 1 pouce d'écarrissage (*mesure anglaise*), soutiendrait verticalement, terme moyen, 27 tonneaux 60,480 liv.; ce qui ferait, si l'on pouvait supposer que la résistance des barres est proportionnelle à l'aire des sections transversales, 604 liv. pour un fer carré dont l'é-

65. On a fait quelques expériences comparatives sur la résistance du fer et de la fonte, à St.-Gervais, dans le Dauphiné. On a pris, pour cet effet, des prismes de deux pouces de longueur et de différens écarrissages, disposés de manière que les points d'appui étaient éloignés entre eux de 1 pouce et 1/2. Les poids qui devaient déterminer la rupture, étaient, comme de coutume, placés sur un plateau, dont le point de suspension se trouvait au milieu des barres que l'on voulait rompre.

TABLEAU des expériences faites à Saint-Gervais.

DÉSIGNATION DES FERS.	LARGEUR de la barre.	EPAISSEUR de la barre.	POIDS employés pour les rompre.
Fer cru............	3 lig.	1,5	500
Id................	3	3	900
Id................	4	2	500
Id................	4	4	1650
Id................	4	4	1775
Fer forgé.........	0,5	1	211
Id................	1	1	581
Id................	2	1,5	1831
Id................	2	2	2231
Id................	3	1,5	2931
Id................	3	3	4131
Id................	4	3	5931
Id................	4	4	11587

paisseur serait la 10me. partie d'un pouce. Voyez un mémoire sur un pont en cables de fer, inséré dans les Annales de l'Industrie, t. 4, n°. 15, p. 156 et suivantes. Quoique les ingénieurs précités

66. On s'est livré à de nombreuses recherches pour déterminer la résistance de la fonte; c'est la fabrication des bouches à feu qui les a provoquées. Mais ces expériences ont répandu peu de lumières sur cet objet, parce que la nature de la fonte varie à l'infini, et que la manière de couler les barres peut fortement influer sur leur ténacité. Pour les éprouver, on les pose par leur milieu sur une arête tranchante, l'un des bouts est pressé contre une autre arête de cette nature, à l'autre est suspendu le plateau que l'on charge des poids nécessaires pour déterminer leur rupture. On peut aussi poser les deux extrémités de la barre sur deux couteaux et suspendre les poids au milieu; ce qui a lieu, soit en fixant le plateau immédiatement au centre de la barre, soit à un levier qui la pressera contre les points d'appui. Ce procédé s'emploie à Gleitzwitz, dans la Haute-Silésie; l'autre se pratique au Creusot, près de Mont-Cénis.

Les barres qu'on a éprouvées dans ces forges, avaient dix-huit pouces de longueur et trois pouces d'écarrissage; elles ont donné les résultats suivans:

---

aient remarqué que la force des barres est sensiblement proportionnelle aux aires des sections transversales, on ne peut cependant admettre ce principe dans toute son étendue.

Le T.

TABLEAU des expériences faites au Creusot.

		k.
DE PREMIÈRE FUSION, obtenue au coak.	1. Fonte blanche provenant d'un canon qui avait crevé.	1162
	2. *Id*	1096
	3. Fonte grise d'un haut fourneau du Creusot.	1605
	4. *Id*	1828
	5. *Id*	2008
	6. *Id*	1771
	7. *Id*	1721
	8. *Id*	1806
	9. *Id*	1632
	10. *Id*	1468
	11. Fonte blanche du même fourneau, lorsqu'il était dérangé	1028
	12. Fonte grise blanchâtre, la tuyère étant obscure	1405
DE DEUXIÈME FUSION, fondue dans un four à reverbère avec la houille.	13. Fonte grise (n°. 8)	2025
	14. Fonte grise du Périgord, fondue au charbon de bois.	1416
	15. Fonte grise de Franche-Comté. . .	1655
	16. Fonte grise anglaise.	1378
	17. Fonte grise, moitié Creusot, moitié Franche-Comté.	1379
	18. *Id*	1762
	19. Fonte grise deux parts Creusot, une Franche-Comté.	1954
	20. Fonte grise, trois quarts Creusot, un Franche-Comté	1687
	21. Fonte grise avec laquelle on a coulé des canons	2192
	22. *Id*	2343
	23. *Id*	1954
	24. *Id*	1528
	25. *Id*	1478
	26. *Id*	1428
	27. *Id*	1395

Dans ces usines, on juge le fer cru assez résistant pour la fabrication des bouches à feu, lorsque les barres peuvent supporter 1500 liv. sans se rompre.

67. De ces différentes expériences, on peut tirer les conclusions suivantes :

1°. Que l'acier légèrement trempé possède la plus grande ténacité, et que les aciers fortement ou non trempés sont un peu moins résistans.

2°. Que la ténacité de l'acier est à celle du fer, dans le rapport de 3 à 2.

3°. Que la ténacité du fer forgé et de l'acier est très-variable, et que l'on manque d'expériences concluantes pour pouvoir apprécier le rapport qui existe entre la résistance du fer et ses autres qualités, telles que la dureté, la manière de se comporter dans les températures élevées, etc.

4°. Que la ténacité du fer forgé est trois fois plus forte que celle de la fonte.

5°. Que la fonte grise est douée d'une plus grande résistance dans son état naturel, que lorsqu'elle a été rendue blanche, à peu près dans le rapport de 8 à 5.

6°. Enfin, que la ténacité du fer cru dépend de la marche du fourneau, et qu'elle est plus faible lorsque celui-ci est dérangé.

68. Dans les expériences que nous venons de citer, on avait pour but de connaître le degré de fragilité des différentes espèces de fer, sans avoir égard à leur flexibilité ; mais c'est principalement cette propriété qui doit entrer en considération : en regardant l'acier comme le fer le plus fort, on paraît se mettre en opposition avec des faits que nous pouvons vérifier tous les jours, en brisant sans effort une barre

d'acier trempé. On ne peut se rendre raison de cette contradiction que par la flexibilité, dont l'effet ne peut avoir lieu pendant le choc, son action étant instantanée : le corps rentre alors sous l'empire de l'aigreur dont les lois nous sont inconnues.

Cette espèce d'anomalie n'existe pas pour les fers durs et non flexibles, car ils sont rompus avec autant de facilité par les poids que par les chocs; ils sont à la fois aigres et peu tenaces. Nous avons fait observer déjà qu'il y a entre l'aigreur et la dureté, une relation telle que la première ne peut exister sans la seconde, bien que celle-ci puisse avoir lieu sans l'autre; il s'ensuit qu'on ne doit pas confondre les fers aigres avec les fers tendres, quoique les uns et les autres soient durs et cassans par le choc. Les effets de l'aigreur peuvent d'ailleurs être corrigés, adoucis par des chaudes rouges; tandis que la fragilité du fer tendre ne comporte aucun remède, lors même qu'il serait débarrassé d'une partie de son aigreur *.

69. Le bon acier est éminemment élastique; cette qualité prouve en quelque sorte sa force et sa *dureté;* mais il acquiert aussi plus d'aigreur à mesure que sa dureté augmente, ce qui paraîtrait absurde, si l'on oubliait que l'aigreur est indépendante de la té-

---

* L'aigreur est donc une espèce de fragilité qui n'a lieu que par le choc et qui ne nuit point à la résistance d'un corps éprouvée par des poids ou par une pression : sans être en opposition avec la ténacité, elle peut cependant rendre les aciers intraitables dans le travail et impropres à presque tous les usages. Réaumur, dans ses mémoires, désigne la qualité opposée à l'aigreur par le mot *corps*, qu'il ne faut jamais confondre avec force ou résistance. L'acier est plus fort que le fer, et celui-ci a plus de corps que l'acier.

Le T.

nacité ou de la modification dont il s'agit ici, l'élasticité. Il en résulte néanmoins que l'acier très-dur peut devenir impropre aux usages qui l'exposeraient à des chocs ou à des secousses.

Le fer mou peut posséder une grande flexibilité, sans être élastique; il appartient alors à la classe des fers forts. S'il est peu flexible, on le range parmi les fers cassans et non aigres.

Le fer dur est souvent très-flexible et doué d'un peu d'élasticité; dans ce cas, il mérite d'occuper le premier rang parmi les fers forts. S'il manque de flexibilité et si ce défaut provient de l'aigreur, une chaude le fait disparaître; si au contraire, il est inhérent à la nature du métal, le fer est cassant et aigre: les fers tendres ou mal affinés sont dans ce cas.

La fonte grise paraît être légèrement flexible et élastique, mais la fonte blanche est dépourvue de toute espèce de flexibilité.

70. Les fers n'ont pas encore été examinés avec assez de soin et de précision sous le rapport de leur ductilité. Le fer fort et dur paraît en jouir au plus haut degré; il n'est surpassé que par le meilleur acier. Le fer tendre et le fer cassant et mou en sont faiblement doués; tandis que le fer fort et mou, s'il ne possède pas cette qualité à un degré plus élevé que le fer fort et dur, peut du moins l'égaler sous ce rapport.

Le fer fort et dur s'aigrit davantage par le travail (la cause en est inconnue), on est obligé de l'étirer avec lenteur et de le recuire plus souvent. La fabrication du fil de fer et du fil d'acier, est basée sur la ductilité de ce métal. Le fer le plus fort peut s'étirer aussi en fils des plus minces, quelle que soit

du reste sa dureté; en supposant toujours qu'on le recuise assez souvent et qu'on le travaille d'une manière convenable à sa nature.

Les différens fers crus ne sont aucunement ductiles; et comme la fonte grise est quelquefois très-douce et flexible, il s'ensuit que ce n'est point la dureté qui s'oppose à la ductilité: on ne peut donc en accuser que l'aigreur. En général, quand un corps est ductile, cette qualité augmente avec sa ténacité.

71. Nous manquons aussi d'épreuves comparatives sur la malléabilité des fers. On prétend que le fer fort et mou surpasse sous ce rapport le fer fort et dur. Une chose incontestable, c'est que celui-ci s'aigrit davantage; qu'on est forcé par conséquent de le chauffer, de le recuire plus souvent, et cette opération a ses inconvéniens, comme nous le verrons par la suite; le premier, au contraire, exigeant moins de précautions, est naturellement préféré à l'autre *.

La fonte grise possède un peu de malléabilité; la fonte blanche en est entièrement dépourvue.

C'est sur cette propriété du fer et de l'acier, que repose la fabrication des tôles.

Pour déterminer la malléabilité relative des fers, on en forme des cubes d'égales grandeurs que l'on écrase ensuite par une pression quelconque. Les fontes non malléables se pulvérisent et répandent une lueur phosphorique, au moment où leur résistance est vaincue par la force comprimante; les cubes des fontes malléables, de l'acier et du fer forgé, s'étendent d'a-

* Cette observation s'applique plus particulièrement à la fabrication du fil de fer.

Le T.

bord, et montrent ensuite des crevasses qui s'accroissent toujours, jusqu'à ce que la force d'aggrégation soit entièrement détruite *.

ÉCROUISSEMENT DU FER.

* Nous devons placer ici les résultats des observations que nous avons faites sur l'écrouissement du fer, c'est-à-dire sur la manière dont il se comporte, étant battu à froid. Ce sujet si intéressant pour les maîtres de forges, et particulièrement pour les officiers d'artillerie chargés de la recette et de la mise en œuvre du fer en barres, n'a été traité nulle part d'une manière satisfaisante.

Il est généralement reconnu que le fer s'aigrit par le battage à froid. Mais, comme on a prétendu aussi qu'il acquérait du nerf, et que les maîtres de forges pouvaient se servir de ce moyen pour donner à des fers médiocres cette texture si recherchée dans le commerce, nous avons cru devoir éclaircir ce fait par quelques expériences; il en résulte:

1°. Que le fer le plus nerveux (quand il aurait même un pouce d'épaisseur et plus encore), étant placé dans le sens de la longueur de l'enclume, perd tout son nerf en 10 ou 15 coups de marteau qu'il reçoit à froid ou chauffé seulement jusqu'au premier degré de la chaleur lumineuse; que, par cette opération, il devient très-aigre et très-fragile; qu'il reprend le grain qui convient à sa qualité sans montrer une trace de nerf dans sa cassure; que ce grain un peu plus fin et plus blanc qu'il ne l'aurait été sans le martelage à froid, est très-beau si le nerf est clair, et qu'il est à facettes lorsque les filamens nerveux sont courts et d'une couleur noirâtre.

2°. Que ce fer écroui, chauffé au-dessous de la chaleur lumineuse, et battu ensuite, reprend en s'alongeant, le nerf qu'il avait perdu, si toutefois il est placé en travers de la panne de l'enclume, et qu'il le perd de nouveau, lorsque, pour achever le *forgeage* de la barre, on la place dans le *sens de la longueur* de l'enclume.

3°. Que le fer qui a perdu son nerf par le martelage à froid, le reprend en partie, en recevant un fort recuit poussé jusqu'à la chaleur rouge claire. Si, comme dans les arsenaux, le recuit n'est donné qu'à la température rouge cerise, le fer ne reprend pas autant de nerf que s'il est chauffé au rouge rose.

4°. Que le fer qui est très-médiocre peut acquérir du nerf, étant

DU MAGNÉTISME DU FER.

72. On a cru long-temps que le fer était le seul métal attirable à l'aimant et susceptible d'acquérir la vertu magnétique? depuis on a découvert la même propriété dans le nikel, le cobalt et le chrome. Les autres minéraux qui ne paraissent pas en jouir, doivent être regardés comme conducteurs du fluide magnétique, ou comme

---

placé en travers de la panne de l'enclume et forgé soit à froid soit au premier degré de la chaleur lumineuse, pourvu que cette panne, ainsi que celle du marteau, soient très-étroites; mais qu'il perd son nerf lorsqu'on veut achever ou parer la barre, et qu'il devient ensuite si cassant, que, sans faire d'entaille, on peut en déterminer la rupture.

D'après cela, nous devons être convaincus:

I. Qu'il est impossible de donner du nerf au fer marchand, en le battant à froid, parce qu'on est toujours obligé de le parer.

II. Que les meilleurs fers peuvent devenir par cette opération, aigres comme l'acier trempé, et plus fragiles que les fers tendres.

III. Que l'on favorise la formation du nerf, en forgeant le fer sous un marteau dont la panne est très-étroite.

IV. Enfin, que nous devons juger de la qualité du fer en barres par la grainure et non par la difficulté que l'on éprouve à le rompre; difficulté qui est modifiée d'ailleurs par d'autres circonstances, sur-tout par la plus ou moins grande stabilité de l'enclume et des points d'appui.

On pourrait demander pourquoi le fer devient si fragile lorsqu'en le battant à froid, on le met dans une circonstance telle qu'il ne puisse s'alonger. Il est possible que ce soit à la fois au resserrement des molécules et à une action chimique qu'il faille en attribuer la cause.

En examinant un morceau de fer qui a été écroui à moitié, on voit régner autour de la cassure, une bande d'un grain plus fin, plus serré et plus blanc que celui du centre: si l'on continue de battre ce fer à froid, la bande de grain fin devient de plus en plus large, jusqu'à ce que toute la cassure présente le même tissu. Il s'ensuit donc que le martelage à froid rapproche les molécules

des substances dont les pôles ne peuvent ressortir d'une manière sensible.

L'effet du magnétisme ne pouvant avoir lieu qu'en vertu de la polarité, il s'ensuit que chaque corps doué de pôles magnétiques, devrait attirer le fer, puisque cette attraction n'est qu'une suite de la division du fluide magnétique dans ce métal, et qu'au

---

du fer plus qu'elles ne l'étaient auparavant. Or il est évident qu'un plus grand rapprochement des molécules doit nuire à la flexibilité du metal; c'est ainsi qu'une grosse barre composée de plusieurs lames, devient d'autant plus flexible que le soudage est plus mal fait, ou bien que les parties sont moins rapprochées; et la résistance qu'un corps peut offrir au choc est toujours proportionnée à sa flexibilité. Le plomb, quoique moins tenace que le fer, résiste davantage aux secousses; tandis que l'acier dont la ténacité surpasse celle du fer de moitié, se laisse briser par une très-légère percussion. Le martelage à froid rapproche donc les molécules, détruit la flexibilité du fer et en augmente l'aigreur. Le martelage à chaud ne peut produire le même effet; puisque le calorique maintient les molécules à une certaine distance, leur donne la facilité de se mouvoir dans toutes les directions, et d'échapper de cette manière à la force comprimante du marteau.

Quant à la deuxième cause à laquelle on peut attribuer l'aigreur du fer écroui, nous présumons, puisque son grain devient plus blanc, qu'elle est semblable à celle qui détermine le durcissement de l'acier au moyen de la trempe. Ce dernier, ainsi que le fer ductile, contiennent une plus ou moins grande quantité de carbure de fer interposé entre les molécules; par la chaude le carbone mélangé se combine avec toute la masse; et par le refroidissement subit, il est saisi et ne peut plus s'en séparer. Or, le martelage peut, en échauffant le métal, en resserrant les molécules du fer et du carbone, et en les mettant dans un état électrique, opérer la combinaison des deux substances; de sorte que le fer se trouve dans le même cas que s'il avait été chauffé au rouge et plongé dans l'eau: aussi remarque-t-on que c'est particulièrement le fer dur, celui qui est susceptible de prendre la trempe, qui s'aigrit le plus par l'écrouissement. Le T.

moment où il est attiré, il devient aimant lui-même, c'est-à-dire, que ses pôles se forment, et que chacun d'eux est sollicité par le pôle opposé de l'aimant. Mais il existe des corps qui sont magnétiques sans attirer le fer; on doit donc penser que leurs pôles ne ressortent pas avec assez de force pour former ceux du fer qu'on leur présente, et que leur effet ne devient sensible que sur des substances douées déjà de la polarité, sur l'aiguille aimantée, par exemple: des minérais qui attirent le fer et sont attirés eux-mêmes par l'aimant, doivent toujours manifester des pôles; si cela n'a pas lieu, il ne faut l'attribuer qu'à la difficulté de les mettre dans une position convenable.

73. On donne au fer la vertu magnétique, en le frottant avec un aimant déjà formé, tel qu'un aimant naturel: il est susceptible aussi de l'acquérir par lui-même et sans aucune communication, si toutefois on peut s'exprimer ainsi, car il n'y a jamais communication du fluide; mais il s'effectue seulement une détermination des pôles, qui se forment avec plus *de lenteur*, lorsque le fer reste abandonné à lui-même, que dans le cas où ils sont provoqués par les pôles opposés d'un aimant: il paraît même que l'aimant naturel n'est point magnétique dans le sein de la terre, et qu'il reçoit cette propriété seulement quand on l'approche de la surface.

Le fer se magnétise étant placé durant un certain temps dans une direction verticale, ou même, d'après Torelli de Narci, étant incliné à 20° sur l'horizon. Le maximum de cet effet a lieu de 70 à 80°; au-dela de cet angle et jusqu'à la direction verticale, il ne paraît plus s'accroître. On peut pré-

sumer du reste, que l'angle qui donne ce *maximum* dépend de la latitude du lieu. Le martelage, le ployement, l'aiguisage, le frottement, les commotions électriques favorisent la magnétisation *.

74. Les propriétés aimantaires ne sont pas les mêmes pour le fer, l'acier et la fonte. Le fer ductile acquiert la vertu magnétique plus vîte et avec plus d'intensité que l'acier; celui-ci la conserve mieux : il est pour cette raison préféré pour la confection des aiguilles aimantées. La même différence se manifeste entre l'acier non trempé et l'acier trempé. La fonte grise qui devient plus aimantaire que la fonte blanche, est attirée par l'aiguille avec plus de force; mais l'une et l'autre le cèdent sous ce rapport au fer et à l'acier.

Torelli de Narci est parvenu à distinguer l'acier du fer, à l'aide de l'aiguille aimantée. Il a trouvé que les barres de fer qui ont acquis le magnétisme par suite d'une position verticale, le perdent aussitôt qu'on les présente à l'aiguille dans une direction horizontale; tandis que les barres d'acier qui l'acquièrent avec plus de lenteur, le conservent ensuite dans toutes les positions au même degré de force.

75. On détruit le magnétisme dans le fer, par sa conversion en limaille, par la chaleur, par un contact

* La vertu magnétique est encore excitée par l'action d'un courant galvanique que l'on fait passer par un fil d'acier: même le laiton, le cuivre, l'argent, le platine, etc. deviennent alors magnétiques ou susceptibles d'attirer la limaille de fer pendant qu'ils communiquent avec les deux pôles de la pile. Mais ce n'est point ici le lieu d'entrer dans le détail de ces récentes découvertes dues principalement au génie de M. Ampère, d'autant plus qu'on les trouve déjà exposées dans les livres élémentaires qui traitent de la physique ou de la chimie.

Le T.

prolongé des pôles de même espèce et de même intensité, par de fortes secousses, par des chocs contre des corps durs, enfin par sa combinaison avec des substances étrangères qui pourtant dans certaines proportions ne font qu'affaiblir ses propriétés magnétiques *.

Par exemple, l'oxigène, le carbone, le soufre et le phosphore, en petite quantité, affaiblissent le magnétisme du fer; en forte dose, ils le détruisent complétement.

Le fer peut s'allier à la plupart des métaux en proportion assez grande sans cesser d'être attirable à l'aimant : l'arsenic en neutralise le magnétisme plus fortement que les autres ; si cependant il n'est combiné avec le fer que dans le rapport de 2 : 1, l'alliage est encore attirable à l'aimant.

C'est au magnétisme qu'on doit l'usage des aiguilles aimantées et la faculté de connaître l'existence du fer dans diverses combinaisons.

DES PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DU FER.

76. Le fer est conducteur de l'électricité comme tous

---

* Il résulte des expériences de M. Barlow, professeur à l'école militaire de Wolwich : 1°. que le fer chauffé jusqu'au blanc, cesse d'agir sur l'aiguille aimantée ; 2°. que son action est très-intense, si la chaleur est portée seulement jusqu'au rouge de sang ; 3°. que le barreau chauffé entre le rouge ordinaire et le rouge brillant, mis dans une certaine position par rapport à l'aiguille horizontale, agit en sens contraire ; c'est-à-dire, que l'extrémité du barreau qui attire par exemple un des pôles de l'aiguille à froid, le repousse à chaud, *et vice versa*. Si on laisse refroidir le barreau, l'action ordinaire se reproduit comme avant la chaude. Annales de Chimie et de Physique, tome 20, pages 107 et 427.

Le T.

les autres métaux. On l'emploie de préférence pour la construction des paratonnerres à cause de son bas prix. Sous le rapport spécial de ses propriétés électriques, il faudrait le compter parmi les métaux *électro-négatifs*, puisqu'il ne peut se changer en acide; mais dans la pile voltaïque, il appartient comme le zinc à la série des métaux les plus *électro-positifs*.

DES PROPRIÉTÉS DU FER DANS LES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES.

77. Parmi tous les métaux, c'est le fer qui a la plus grande capacité pour la chaleur; c'est-à-dire qu'il faut une plus forte dose de calorique libre pour l'élever à un degré de température donné; ou, ce qui revient au même, lorsqu'il reçoit ainsi que divers métaux la même quantité de chaleur, les masses étant supposées égales, sa température s'élève moins que celle des autres substances métalliques; c'est pour cela que sa chaleur spécifique, qui représente cette quantité de calorique nécessaire pour qu'il acquière un certain degré de température, est plus considérable que celle de tous les autres métaux.

La conductricité ou la vîtesse avec laquelle la chaleur se meut dans les corps, ainsi que leur dilatabilité, ne paraissent être dans aucun rapport avec leur capacité pour le calorique.

78. Le temps nécessaire pour que la température s'élève à un degré donné, dépend du calorique spécifique et de la conductricité de chaque corps : il est en rapport inverse avec celle-ci et en rapport direct avec l'autre.

C'est donc à tort que l'on a voulu déterminer la conductricité des corps, en supposant qu'elle était sim-

plement en rapport inverse avec le temps qu'ils emploient pour passer d'un degré de température à un autre; puisque ce temps est en raison composée de la conductricité et de la capacité. En suivant cette marche, on a dû supposer que la conductricité était aussi en rapport inverse avec la capacité des corps, ce qui n'est pas toujours confirmé par l'expérience. Il est vrai que le fer, dont la capacité est très-grande, ne montre qu'une assez faible conductricité; il s'élève plus tard que les autres métaux à un degré de chaleur déterminé et redescend avec plus de lenteur à une basse température.

79. Buffon a fait des expériences sur le temps qui est nécessaire pour chauffer des fers de différentes dimensions. Il a cherché une loi, d'après laquelle on pût déterminer ce temps pour tous les volumes. Mais les résultats de ses expériences sont inexacts et d'un usage difficile pour la pratique, parce que la forme des corps les modifie diversement. La sphère a été choisie de préférence par ce naturaliste : il serait intéressant de continuer ses recherches, afin de connaître la relation qui doit exister entre les temps d'échauffement.

La répartition de la chaleur dans les corps, doit suivre du reste des lois constantes. Il nous importe donc d'examiner avant tout, les changemens principaux que le fer subit dans les différens degrés de température.

80. La chaleur, en ramollissant le fer, le dilate dans toutes ses dimensions; cette dilatation, presqu'imperceptible à une basse température, s'accroît de plus en plus quand on élève le degré de chaleur: et la dureté diminue à un tel point que le fer devient pâteux et qu'il finit par se liquéfier entièrement.

La dilatation est dans un certain rapport avec l'accroissement de température, mais on ne connaît pas encore au juste l'augmentation de volume qui doit en résulter.

Effets du calorique sur le fer, jusqu'à l'ébullition de l'eau.

81. L'influence du calorique sur la dureté du fer, est très-sensible, même pour une légère variation de température. Un fer forgé reconnu de bonne qualité, à la température ordinaire de l'été, ne peut soutenir des chocs pendant la gelée. Il paraît qu'en général le froid rend les corps beaucoup plus aigres. On ne peut donc juger avec certitude de la qualité du fer, ni de celle de la fonte, ni de celle de l'acier, en soumettant ces métaux aux épreuves des secousses et de la chute pendant les froids de l'hiver *. Aussi les canons de fusil et toutes les bouches à feu crèvent plus souvent dans cette saison; et les gros marteaux des forges ont alors besoin d'être chauffés lorsqu'on veut les mettre en mouvement.

82. Hoellstrom a fait des expériences très-précises sur la dilatation du fer aux différentes températures, depuis — 40° jusqu'à + 100°; il en résulte que, si la longueur du fer est 1 à 0°, elle subira les variations suivantes :

---

* Ces faits nous conduisent à cette conclusion, qu'une certaine espèce de nos fers d'artillerie, les essieux, qui sont destinés à supporter des chocs et des secousses quelquefois pendant les froids les plus rigoureux, ne devraient être essayés que pendant l'hiver, et au moment des gelées.

Le T.

				Longueur.
à	—	40°	—	0,999632.
	—	30	—	0,999721.
	—	20	—	0,999811.
	—	10	—	0,999904.
		0	—	1,000000.
	+	10	—	1,000102.
	+	20	—	1,000211.
	+	30	—	1,000328.
	+	40	—	1,000453.
	+	50	—	1,000588.
	+	60	—	1,000734.
	+	70	—	1,000892.
	+	80	—	1,001063.
	+	90	—	1,001247.
	+	100	—	1,001446.

Le fer dont cet auteur fit usage, était un fil de 3 millimètres de diamètre, dont la pesanteur spécifique, à la température de 19° centig., était de 7,737; ce métal s'étend par conséquent de 0,001814 ou d'$\frac{1}{545}$ depuis — 40° jusqu'à 100° et d'$\frac{1}{694}$ depuis la glace fondante jusqu'à 100°. Son volume augmenterait donc dans le premier cas, d'$\frac{1}{182}$, et dans le deuxième, d'$\frac{1}{231}$.

Les résultats que nous venons de rapporter, ne s'accordent point avec ceux qui ont été obtenus par d'autres physiciens. Si l'on suppose la longueur du fer à 0° égale à 1, il se dilatera au degré de l'ébullition de l'eau, suivant Lacondamine, de 0,00106; suivant Bouguer, de 0,00055; suivant Ellicott, de 0,00060; suivant Juan, de 0,00092; suivant Lowitz, de 0,00080; suivant Smeaton, de 0,00125; suivant Muschenbroek, de 0,00073; enfin, suivant Herbert, de 0,00107.

83. Ces différences considérables dans l'évaluation de la dilatation du fer, depuis la glace fondante jusqu'à

l'ébullition de l'eau, nous font présumer que celle des autres corps n'aura pas été déterminée avec plus d'exactitude. MM. Dalton et Davy ont donné un tableau de la dilatation de diverses substances, depuis o jusqu'à 80° de Réaumur; leurs résultats puisés probablement à la même source, sont assez concordans. Si la valeur absolue des nombres laisse quelque doute, leur valeur relative peut néanmoins servir de rapport entre la dilatation du fer et celle des autres corps. Nous allons par conséquent les transcrire tels que Davy les a donnés.

La longueur étant exprimée par 100,000,

Le verre *devient en se dilatant*....	100083.
— platine........ *id*................	100087.
— or............. *id*................	100094.
— antimoine.... *id*................	100108.
— fer cru........ *id*................	100111.
— acier.......... *id*................	100112.
— fer forgé...... *id*................	100126.
— bismuth...... *id*................	100139.
— cuivre rouge. *id*................	100170.
— laiton jaune fondu............	100180.
— argent........ *id*................	100238.
— étain.......... *id*................	100278.
— zinc fondu... *id*................	100296.
— zinc forgé.... *id*................	100308.
— mercure...... *id*................	101835.
— fluides élastiques...............	137500.

C'est le verre, le platine, l'or, l'antimoine et le fer qui éprouvent la plus faible dilatation, depuis o° jusqu'à l'ébullition de l'eau. M. Davy prétend que le fer cru s'étend moins que l'acier, et celui-ci moins

que le fer forgé. On emploie ce dernier ou l'acier pour la confection des pendules; et l'on corrige, d'une manière ingénieuse, les variations dans la longueur de la verge, au moyen de celles du cuivre qui sont plus fortes.

Effets du calorique sur les trois espèces de fer, jusqu'à la chaleur rouge.

84. Puisque les températures basses produisent dans le fer des changemens si marqués, il est clair que la chaleur rouge, qui commence à peu près à 1000 degrés de Fahrenheit *, en produira de très-considérables.

Nous n'avons point, malgré cela, de données positives sur la dilatation et le ramollissement du fer. Muschenbroek a fait à ce sujet quelques expériences dont les résultats manquent d'exactitude. Il paraîtrait, selon Rinman, que le fer s'étend depuis la température ordinaire de l'été jusqu'à la chaleur rouge de $\frac{4}{560}$, l'acier de $\frac{6}{560}$, et la fonte de $\frac{7}{560}$.

Si les observations de Rinman sont exactes, et si en même temps, il est prouvé qu'au-dessous de l'ébullition de l'eau, la fonte se dilate moins que le fer et l'acier; il doit exister un degré de chaleur où ces trois espèces

* Afin d'aider la mémoire d'une partie de nos lecteurs, nous rappellerons ici que le 0° de Réaumur correspond à 32° de Fahr. et l'ébullition de l'eau à 212°. Pour convertir un nombre A de degrés de Fahrenheit, en degrés du thermomètre centigrade, et en degrés de Réaumur, on établit les proportions $(212-32) : 100 :: A-32 : X$ et $(212-32) : 80 :: (A-32) : X$; ce qui donne pour les degrés centigrades $X = \frac{5}{9}(A-32)$, et pour les degrés de Réaumur, $X = \frac{4}{9}(A-32)$. Si A était plus petit que 32, il faudrait soustraire A de 32, et donner au reste le signe —. Le 0 du pyromètre de Widgwood correspond à 598° centigrades, et chaque degré est égal à 72° du thermomètre centigrade.

Le T.

de fer obéissent dans leur dilatation à une loi opposée à celle qui les régissait d'abord. Rinman prétend avoir remarqué que, à la température de 500 à 1550°, le fer se trouve dilaté de $\frac{3}{560}$, l'acier de $\frac{4}{560}$ et la fonte de $\frac{5}{560}$; il s'ensuit que le degré de température dont nous venons de parler, ne peut exister qu'entre 212 et 500° de Fahrenheit.

85. Le phénomène le plus intéressant que nous présente le fer dans cette période, c'est le changement de couleur de la surface; il se manifeste à 400° de Fahr.: cette couleur n'est point passagère, elle reste après le refroidissement, telle que la chaleur l'a produite. Les métaux qui se liquéfient après avoir passé par la chaleur rouge, les métaux précieux exceptés, subissent une altération semblable; les autres fondent aussitôt que le changement de couleur commence à s'opérer. On fait usage de cette propriété du fer, soit pour orner certains objets, soit pour des raisons dont il sera question plus bas. L'éclat des couleurs augmente avec le poli de la surface: il s'ensuit que l'acier doit l'emporter à ce sujet sur le fer, et celui-ci, sur la fonte grise; mais la fonte blanche peut recevoir des couleurs aussi brillantes que l'acier.

86. La surface du fer se colore diversement à des degrés de température déterminés: elle devient jaune de paille à 400°, point de fusion de l'étain; jaune d'or ou jaune foncé à 420°; cramoisi à 450°, point de fusion du bismuth; violet, pourpre et bleu foncé à 540°, lorsque le plomb se liquéfie; cette couleur passe ensuite au bleu clair, au vert de mer et finit par disparaître à 700°, point de fusion du zinc. Si l'on élève davantage la température, on fera renaître la même série de couleurs à commencer par le jaune

pâle, le cramoisi, le violet, etc.; mais elles seront moins vives et disparaîtront plus vîte. Un instant avant la chaleur rouge, il se forme pour la troisième fois une couleur bleue foncée; et, si dans ce moment le métal est retiré du foyer, on le trouve recouvert d'une légère pellicule. Nous pouvons admettre en principe que ces couleurs sont un effet de la combinaison de l'oxigene avec le fer, quoique ces états d'oxidation nous soient encore inconnus.

87. Toutes ces couleurs ont peu d'éclat, à l'exception du bleu foncé de la première série. C'est la seule que l'on soit en usage d'employer pour ornement; mais elles sont toutes d'une grande utilité, parce qu'elles servent à faire juger du degré de recuit que l'on veut donner à chaque espèce d'acier, afin de le rendre moins fragile, sans trop en diminuer la dureté *.

88. On est dans l'usage de bleuir quelquefois la surface du fer ou de l'acier, après l'avoir poli, mais il faut de l'adresse et une grande habitude pour exécuter cette opération

89. Les trois espèces de fer ne se colorent pas à la même température; l'acier exige moins de chaleur que le fer forgé, et celui-ci, moins que la fonte grise. Nous ne pouvons exprimer exactement ces différences de températures au moyen du thermomètre; mais elles sont si considérables, que l'acier atteint souvent le troisième terme de la série, quand le fer n'est encore parvenu qu'au deuxième, et la fonte grise, qu'au premier.

---

* C'est pour cette raison que nous appellerons dorénavant ces couleurs, dont il sera souvent question, les *couleurs du recuit*.

Le T.

On n'a pas encore fait à ce sujet des expériences comparatives sur la fonte blanche et les autres espèces de fer : il est probable qu'elle précéderait même l'acier. Le fer se colore d'autant plus vîte qu'il est plus dur. On peut donc distinguer de cette façon les endroits durs et mous d'une même barre ; les premiers seront déjà bleus, lorsque les autres paraîtront à peine rougeâtres.

90. Après avoir passé par tous les degrés de température qui produisent les changemens de couleur à sa surface, le fer étant chauffé davantage, devient lumineux dans l'obscurité ; sa couleur, brune d'abord, s'éclaircit de plus en plus, bientôt elle est rouge, même au grand jour : exposé peu de temps à ce degré de chaleur, ce métal conserve ses propriétés.

Il n'en est pas de même de l'acier ; trempé, il perd par la chaleur toute la dureté provenant de la trempe ; non trempé, il acquiert plus de douceur qu'il n'en avait avant la chaude. Le fer dur se trouve dans le même cas, tandis que dans le fer mou on ne reconnaît aucune modification après le refroidissement.

Comme l'aigreur diminue avec la dureté, on trouve dans le recuit un moyen d'ôter au fer cette mauvaise qualité, lorsqu'elle est une suite du martelage à froid. Le fer aigre de sa nature (68) ne peut perdre, par le recuit, ce défaut, qui dans ce cas ne résulte pas exclusivement de sa dureté.

Effets du calorique sur le fer, jusqu'à la température de la fusion.

91. A mesure que la température s'élève, le rouge s'éclaircit davantage (90), se change en jaune et finit par passer à une couleur blanche éclatante. Ce degré

de température s'appelle *la chaleur blanche*. La différence entre la chaleur rouge et la blanche est si considérable, que cette dernière s'estime à 12,000° de Fahr., l'autre n'étant que de 1000. Cependant, on ne connaît encore aucun moyen facile de déterminer les nombreux degrés intermédiaires entre ces deux points remarquables. Avant que le fer devienne lumineux, on juge de sa température par les couleurs du recuit dont nous avons parlé aux paragraphes 86, 87, etc.; au-delà de ce point, il ne reste d'autres signes pour la connaître que les différentes nuances du rouge, dù jaune et du blanc : On ne peut l'apprécier que par une longue habitude.

Les degrés de chaleur nécessaires pour fondre le cuivre, l'argent et l'or, estimés à 4500, 4700 et 5200° de Fahr., sont encore bien au-dessous de la chaleur blanche.

Il est essentiel pour la trempe de l'acier, qu'on puisse juger de l'intensité des chaudes avec une grande exactitude; car chaque espèce d'acier demande, pour ainsi dire, un degré de chaleur particulier. Les différens fers même veulent être travaillés à divers degrés de chaleur blanche pour conserver toute leur qualité. Il serait d'une grande utilité pour la préparation du fer et son emploi dans les arts, qu'on pût trouver un moyen pratique de connaître les degrés de chaudes avec une certaine précision. Rinman propose d'employer à cet effet la dilatation même du fer; mais nous avons fait observer déjà qu'il est difficile de l'apprécier dans les basses températures et que les résultats obtenus à une chaleur plus forte sont pleins de contradictions (42 — 84). Ce qui s'oppose plus particulièrement encore à l'adoption de ce procédé, c'est que la dilatation varie selon la qualité du fer.

92. L'acier, la fonte et le fer prennent les diverses chaudes lumineuses, en conservant entr'eux le même ordre qu'ils observent pour atteindre les couleurs du recuit. L'acier devient plutôt rouge et blanc que le fer forgé, et celui-ci précède la fonte grise; mais la fonte blanche se chauffe aussi vîte que l'acier. Cette différence entre les temps d'échauffement, est d'autant plus forte, que l'acier est plus dur et le fer plus mou. Il s'ensuit aussi que le fer dur acquiert la chaleur blanche plutôt que le fer mou. Ces faits d'expérience se vérifient tous les jours dans la fabrication des objets aciérés.

93. Les fers chauffés au blanc sont extrêmement mous et susceptibles de recevoir toutes les impressions; ce qui a été dit (90) des changemens que le fer et l'acier éprouvent après leur refroidissement, s'applique aussi à ce cas; pourvu cependant que les fers ne soient pas exposés au courant d'air, ni chauffés sous une enveloppe de poussière de charbon, ni soumis trop long-temps à la chaleur blanche.

94. Il résulte des expériences de Rinman, que le fer forgé se dilate en passant du rouge brun au blanc de $\frac{3}{560}$, l'acier de $\frac{4}{500}$ et la fonte de $\frac{5}{560}$; que la dilatation du fer depuis la température ordinaire de l'été jusqu'au premier degré de la chaleur blanche, est de $\frac{7}{500}$ pour le fer forgé, de $\frac{10}{560}$ pour l'acier et de $\frac{12}{560}$ pour la fonte.

95. Si l'on augmente encore la chaleur, le fer se ramollit à un tel point qu'il finit par entrer en fusion. C'est alors, sur-tout, qu'il se comporte bien différemment dans ses trois états. Le fer ductile exige une si haute température pour entrer en liquéfaction, qu'on l'a regardé long-temps comme infusible. Ce degré de

chaleur peut s'estimer entre 19000 et 20000° de Fahr., ou 150 à 155 de Wedgwood. Le fer cru se liquéfie entre 17500 et 18000° de Farh., ou 125 à 130 de Wed.; son point de fusion varie du reste avec ses autres propriétés. Il en est de même de l'acier, qui est d'autant plus fusible qu'il est moins dur et moins élastique.

Chacune des trois espèces de fer demande un examen séparé; parce que la chaleur et l'oxigène agissent différemment sur elles, et qu'on n'est pas toujours le maître de les préserver entièrement de l'influence de l'air et du combustible.

Des propriétés du fer ductile dans les températures élevées.

96. Le fer jouit d'une propriété particulière, qui n'a encore été reconnue dans aucun métal, si ce n'est tout nouvellement dans le platine : il peut s'unir avec lui-même à la chaleur blanche, c'est ce que l'on appelle se *souder*. Les autres métaux se ramollissent également avant la fusion; mais il est impossible de réunir leurs morceaux ramollis en une seule masse, par une pression mécanique, et sans avoir besoin de les liquéfier. C'est à la soudabilité que nous devons les immenses avantages que le fer procure à la société, car ce métal est si difficile à fondre, qu'on ne pourrait le mettre en œuvre comme le cuivre ou l'argent.

Ce n'est qu'à la chaleur blanche que l'on peut effectuer les soudures; on l'appelle pour cette raison, le *blanc soudant*. Le fer dur y arrive plus vîte que le fer mou: celui qui ne possède qu'une très-faible soudabilité, rentre dans la classe des mauvais fers, quelles que soient du reste ses autres qualités; on le nomme *fer rouverin*.

Il existe aussi des fers qui se laissent très-bien souder et qui manquent de ténacité. Enfin il en est qui se soudent bien à la chaleur blanche, et se fendillent ou se *criquent* sur les arêtes, pendant le forgeage, quand on approche du rouge cerise; ce sont aussi des fers rouverins: on les appelle *fers de couleur*, lorsqu'ils ne possèdent ce vice qu'à un seul degré de chaleur. En un mot, le fer peut être rouverin au rouge cerise, au rose ou à la chaleur blanche. Il faut remarquer cependant, qu'il existe des fers rouverins qui ne se criquent pas pendant le martelage; ces sortes de fers peuvent servir à une foule d'usages, si le défaut dont il s'agit n'est point très-prononcé: les pièces fabriquées et mises en place offrent alors une grande résistance à la température ordinaire.

Le fer mal affiné devient à la fois rouverin et cassant à froid. Le fer tendre (68-70) est presque toujours très-soudable, mais on en trouve aussi qui est brisant à chaud et cassant à froid, sans être pour cela mal affiné. Il serait impossible de souder par les moyens ordinaires, du fer d'un très-faible diamètre; on n'y parvient qu'à l'aide de la pile galvanique.

97. Si le fer en barres, chauffé au rouge, reste exposé au contact de l'air, sa surface se recouvre d'une enveloppe qui devient de plus en plus épaisse, qui se détache peu à peu, tombe et se renouvelle, jusqu'à ce que toute la masse du fer soit convertie en une semblable matière. On l'appelle ordinairement *écailles*, *battitures* ou *paillettes* de fer *; elle se forme d'autant plus vîte que la chaleur est plus forte, que

* C'est le fer oxidé au premier degré.

Le T.

l'accès de l'air est plus libre, et que la surface du fer est plus grande, abstraction faite de l'influence que chaque espèce de combustible peut avoir sur cette opération chimique. Les scrupuleuses expériences de Rinman paraissent prouver que le fer mou se couvre plus tôt d'une couche d'oxide, que le fer dur.

98. Une chaleur blanche modérée, aidée du contact de l'air, produit sur le fer une couche noire moins épaisse et plus fine qu'elle ne le serait si la température était très-forte; mais cette matière se détache plus difficilement du métal et s'y creuse davantage: en séjournant quelque temps sur le fer, elle prend une couleur brune foncée, qui s'éclaircit de plus en plus et finit par passer au rouge brun clair. Chauffé rapidement, le fer enveloppé d'une couche de paillettes conserve toute sa qualité. Il n'en est pas de même si la chaleur est variable et prolongée; ce métal perd alors une grande partie de sa ténacité, et se rapproche des fers cassans et mous, après son refroidissement.

Le fer mou est plus sujet à se détériorer par les mauvaises chaudes que le fer dur; il suffit du reste de donner au fer brûlé une chaude suante, hors du contact de l'air, dans un bain de scories, par exemple, pour lui rendre sa qualité première. Nous concluons de tout ceci que le fer doit être chauffé très-rapidement. On est souvent dans la position de reconnaître la vérité de ce principe, soit lorsque le charbon est humide, soit lorsque les soufflets sont en mauvais état, soit enfin quand le fer est exposé au contact immédiat de l'air, devant la tuyère ou dans les fours à réverbère.

99. Pour éviter le déchet et la détérioration du fer, il serait à désirer qu'on le couvrît d'une enveloppe,

pour le défendre de l'action de l'air et lui conserver sa qualité; mais on ne connaît pas encore de substance qui puisse servir à cet effet, dans la pratique. On doit donc empêcher, autant qu'il est possible, la formation de l'oxide, en donnant une chaleur continue et en tenant le fer hors du courant d'air *.

100. La préparation et le travail du fer, ne pouvant s'exécuter sans la présence de l'air atmosphérique, il faut avoir la plus grande attention de dérober ce métal à son influence nuisible. On y parvient dans les renarderies, et les chaufferies, en le tenant toujours enveloppé d'une couche de matière liquide, formée, soit par les scories qui résultent de l'affinage, soit par la substance que nous avons appelée paillettes, soit avec de l'argile ou du sable projetés sur le fer lorsqu'il est rouge; mais l'argile ne s'emploie que rarement.

Ces matières vitrifiables forment une enveloppe de laitier qui protége le métal contre l'action de l'air. Si toute sa surface en était parfaitement couverte, on pourrait l'exposer long-temps à une haute température, sans craindre de le détériorer. C'est ainsi que,

---

* On a trouvé une composition qui ne se fendille point, qui s'attache fortement au fer et fait corps avec lui. On la prépare avec une partie de briques pilées très-fin, un partie de chaux vive, une partie de gypse calciné, deux de limaille ou à son défaut de battitures de fer, et une partie de verre pilé: toutes ces quantités se prennent à la mesure et non au poids. Ce mélange est converti en pâte avec du sang de bœuf; il résiste à la chaleur rouge, mais sans pouvoir supporter la température du blanc soudant, ce qui fait qu'il ne peut guère servir que de mastic; il est très-propre à cet usage, comme s'opposant très-bien au passage de la vapeur. Pour un degré de température plus élevé que la chaleur rouge, on peut faire usage d'un mélange d'argile, de battitures de fer et de crottin provenant de chevaux mis au vert. Note de l'Auteur.

chauffé dans un creuset avec du verre et maintenu à la chaleur du blanc soudant, il conserve toutes ses qualités et ne perd que son aigreur (90). Mais dans les foyers de forge, on ne peut l'abriter d'une manière aussi complète, ni empêcher, par conséquent, qu'il ne subisse, à un degré plus ou moins fort, les changemens dont il a été question (98). On doit donc hâter les chaudes pour diminuer le déchet et ne point nuire à la qualité du métal. Lorsque, dans certaines circonstances, on est forcé de les prolonger, on enduit la surface du fer d'une pâte semblable à celle dont il a été question au paragraphe précédent; cependant, on ne doit pas en attendre un succès complet, à moins que la barre n'en soit hermétiquement enveloppée pendant toute la chaude. On trouve un exemple de cette manière d'opérer dans la fabrication de la tôle.

101. Les charbons incandescens, dont le fer est entouré, agissent à leur tour sur le métal et produisent des phénomènes bien différens de ceux que nous venons de relater. Si la chaude n'est ni très-intense ni très prolongée, les charbons ne feront qu'empêcher l'action de l'air atmosphérique sur le fer, sans lui communiquer des propriétés nuisibles : c'est même un moyen de lui rendre sa qualité, si elle a souffert par une chaude sèche ou par un martelage à froid. Dans le premier cas, il faut porter la température jusqu'au blanc soudant : on ferait encore mieux de chauffer le fer dans un bain de scories, parce qu'il ne serait guère possible de l'envelopper de charbons, au point que l'air ne pût pénétrer et agir sur le métal.

102. En chauffant le fer devant la tuyère, au milieu de charbons embrasés, on doit avoir une grande habitude pour ne pas le brûler. Les charbons ne peuvent le

couvrir d'une manière parfaite : il faut donc employer le sable ou des matières vitrifiables pour lui donner une enveloppe artificielle, si déjà il n'existe un bain de laitier au fond du foyer *.

Il est essentiel dans le travail du fer, que les chaudes soient bien conduites ; elles lui conservent, alors, sa qualité et l'améliorent quand il a souffert par un traitement défectueux. Mais il n'est pas facile d'y réussir toujours ; pour peu que le métal reste exposé au courant d'air, il se forme une couche d'oxide, qui bientôt est remplacée par une autre et ainsi de suite, ce qui occasionne un déchet considérable et change la nature du fer. Si au contraire, on le chauffe trop au-dessus de la tuyère, crainte de le brûler, on tombe dans l'inconvénient des chaudes lentes dont nous allons parler. Une expérience journalière nous fait voir que les ouvriers gâtent souvent le meilleur fer, et lui attribuent ensuite des défauts qui ne sont dus qu'à leur inhabileté.

103. Si le fer, à l'abri de l'air et en contact avec le charbon, reste exposé long-temps à la chaleur blanche, il prend toutes les propriétés de l'acier : la fabrication de l'acier de cémentation repose sur ce fait d'expérience. Si la chaleur n'a pas été assez forte ni prolongée assez long-temps, le fer se couvre seulement d'une couche d'acier ; mais le moindre accès de l'air provoque la formation de l'oxide. La combustion du

---

* La substance la plus convenable pour cet objet, est la battiture de fer que l'on recueille dans les platineries, autour des martinets ; ou, ce qui revient au même, les écailles qui se détachent des fers laminés. J'ai fait plusieurs essais à ce sujet ; ils m'ont prouvé que les sables et les terres argileuses produisent souvent un effet nuisible sur la qualité du fer, tandis que j'ai toujours été satisfait de l'emploi des battitures. Le T.

fer et de l'acier dans le gaz oxigène, est un exemple de celle qui a lieu dans les foyers de forge.

104. Lorsque la température est élevée encore à un plus haut degré, et que le fer, en présence avec le charbon, est mis en fusion dans un creuset fermé hermétiquement, on obtient, ou de l'acier, ou de la fonte blanche, ou de la fonte grise. Les conditions dont dépend la formation de l'une ou de l'autre de ces trois espèces de fer, ne sont pas encore bien connues. Il paraît que c'est la chaleur seule qui produit ces diverses modifications dans la combinaison du fer avec le carbone; car le charbon ne manquant jamais dans ces sortes d'expériences, le fer pourrait en prendre constamment une même quantité.

105. Il arrive quelquefois que les forgerons, loin de brûler le fer, tombent dans le défaut opposé, et lui fournissent l'occasion de se combiner avec le carbone. On dit alors qu'il a repris sa crudité ou sa première nature; mais cet accident est assez rare, et quand il se présente, on peut y remédier par une ou plusieurs chaudes suantes : dans ce cas, le fer est seulement aciéreux, à moins que, par un excès de précaution, l'ouvrier, le tenant toujours sous le vent, ne l'ait changé entièrement en fonte.

106. Le fer ductile liquéfié en contact avec le carbone, perd ses propriétés et se change en acier ou en fonte. On a cru long-temps qu'il était impossible de le fondre sans en altérer la nature; pour y parvenir, il faut l'exposer, d'après M. Kenzie, à la température de 160° de Wedgwood ou 21 à 22000° de Fahr., sans le mettre en contact ni avec l'air ni avec le charbon. Ce degré de chaleur est le plus élevé que l'on puisse produire dans les meilleurs fourneaux à vent. On ne

peut donc déterminer le point de la température où il passe à l'état de fluide élastique.

Quelque intéressante que soit la découverte de M. Kenzie, sous le rapport scientifique, la sidérurgie est loin d'en retirer aucun avantage. La soudabilité du fer nous donne le moyen de l'employer pour tous les usages, tandis que la chaleur extraordinaire qu'il exige pour entrer en fusion, empêche de tirer parti de sa fusibilité. D'après les expériences faites à Londres, on a fondu, à l'aide du miroir ardent de Parker, 10 grains de fer forgé en 12 secondes.

Des propriétés de l'acier dans les températures élevées.

107. L'acier se conduit comme le fer dans les hautes températures, et principalement comme le fer dur. Il soude avant lui (96) et se couvre moins vîte d'une couche d'oxide (97). Les chaudes sèches et prolongées lui font éprouver les mêmes changemens qu'au fer (98 - 100), quoiqu'ils arrivent plus tard; avant de les subir, il perd sa nature d'acier et prend les propriétés du fer; c'est ce que les ouvriers appellent *se pâmer*. Certains aciers se pâment plutôt que d'autres: on ne peut les corriger par les chaudes grasses; mais ils forment ensuite un excellent fer, s'ils sont eux-mêmes de bonne qualité.

L'acier ne change pas quand on lui donne une chaude grasse et rapide; soumis long-temps à la chaleur blanche, sans le contact de l'air, son grain devient plus fin et plus homogène.

108. L'expérience a prouvé depuis long-temps que le fer fort et dur perd une partie de sa dureté, étant exposé à la chaleur blanche avec le contact de l'air.

Ce fait est d'accord avec les phénomènes que présente l'acier dans les mêmes circonstances. L'un et l'autre se rapprochent alors de la nature du fer le plus pur, tandis que le fer dur et cassant conserve sa dureté et devient encore plus mauvais. Du reste, il ne s'agit point ici de la dureté et de l'aigreur qui sont une suite de la trempe ou du martelage à froid (60); on les corrige à un degré de chaleur beaucoup plus faible.

109. L'acier, pouvant perdre au feu toutes ses propriétés caractéristiques, demande à être chauffé avec plus de soins et de précautions encore que le fer; on doit le saupoudrer de sable pour le protéger contre l'influence de l'air atmosphérique et l'empêcher aussi de se changer en fonte. Enfin, les règles prescrites pour chauffer le fer s'appliquent également à l'acier.

110. Soumis à la chaleur blanche, sans le contact de l'air, l'acier ne subit point de changement (107); mais si l'on fait usage de la poussière de charbon pour le défendre contre l'influence de l'air atmosphérique, et s'il est maintenu long-temps au degré du blanc soudant, il perd une partie de sa ténacité, cesse d'être ductile et malléable, et finit par ne plus pouvoir se souder. Si la température s'élève jusqu'au point de sa fusion, il passe complétement à l'état de fonte.

111. Si donc, on veut liquéfier l'acier et lui conserver toutes ses propriétés, on doit le préserver du contact de l'air, ne pas le couvrir d'une couche de poussière de charbon et le chauffer avec rapidité, surtout en faisant usage de creusets brasqués. Une chaleur vive et l'emploi d'une substance vitrifiable servant à couvrir le métal, sont des points essentiels dans la fabrication de l'acier fondu: couvert d'une couche de verre et entretenu quelque temps à l'état liquide, il

conserve non-seulement toutes ses propriétés, mais il devient aussi plus fin et plus homogène (107).

La liquéfaction des aciers durs et mous mis ensemble en diverses proportions, présente un moyen sûr de les combiner et d'obtenir des produits de différens degrés de dureté, selon l'usage auquel on les destine. Ce moyen paraît préférable au raffinage; il serait généralement adopté, s'il n'exigeait pas l'emploi d'une si haute température, ce qui occasionne une forte dépense en combustibles et en creusets *.

Des propriétés de la fonte dans les températures élevées.

112. La fonte se distingue du fer et de l'acier, en ce qu'elle n'est point soudable. La fonte blanche passe plus tôt aux différens degrés de chaudes. Il n'en est pas ainsi de la fonte grise; mais l'une et l'autre parviennent plus promptement au point de fusion, et peuvent être moulées comme le cuivre et l'argent.

113. Si dans les hautes températures la fonte reste exposée à l'influence de l'air atmosphérique, elle se comporte comme le fer et l'acier; mais il faut une chaleur plus prolongée pour qu'elle se couvre d'une couche d'oxide: cette couche est toujours plus épaisse, plus rude, d'un grain moins fin que celle qui couvre le fer ductile; poreuse et très-fusible, si le coup de feu est rapide, elle fournit alors au métal une enveloppe liquide, qui ralentit les progrès de l'oxidation. Une chaleur incertaine et faible, produit au contraire une couche moins épaisse et d'un grain plus fin, dont la

* L'acier fondu qu'on obtiendrait serait d'ailleurs moins soudable que l'acier raffiné.

Le T.

couleur noire passe peu à peu au brun, et finit par devenir entièrement rouge.

On ne connaît pas encore de substance qui puisse, pour la fonte, servir d'enveloppe artificielle et résister aux températures élevées : la terre glaise dont on fait usage, ne remplit ce but qu'imparfaitement. On est donc réduit à n'empêcher l'accès de l'air qu'en partie, et à éviter les changemens de température pour les vaisseaux exposés à la chaleur.

114. Le fer cru se fond à 17 ou 18000° de Fahr.; la fonte blanche arrive plutôt au point de fusion que la fonte grise, mais cette dernière devient plus liquide : l'une et l'autre occupent alors un volume plus considérable qu'avant leur changement d'état; la fonte solide surnage dans le bain *. Le fer cru fait donc une exception aux lois générales de la dilatation des corps; cette apparente anomalie provenant de la cristallisation, a également lieu pour le bismuth, l'antimoine, le zinc, le soufre et l'eau : la fonte n'en devient que plus propre à être moulée, parce qu'elle remplit les moules parfaitement.

La fonte blanche se dilate moins que la grise, en passant de l'état liquide à l'état solide, ou ce qui, dans certaines circonstances, revient au même, elle subit un retrait plus considérable par le refroidissement. En employant la fonte de cette nature pour des objets coulés, on ne doit point négliger cette considération ; si au contraire, on fait usage de l'autre, il faut opposer à la pression que la fonte exerce contre les parois du moule, une pression extérieure et augmenter sa compacité par la hauteur des jets et le poids des masselottes.

---

* Ce n'est cependant pas la fonte froide qui surnage.
Le T.

115. *La fonte grise* soumise à une chaleur continue et modérée, se couvre d'un oxide plus friable et moins compacte que celui de la fonte blanche. La fonte blanche naturelle et celle que l'on obtient par une surcharge de minérais, ne diffèrent point entre elles, quant à leurs propriétés caractéristiques. La sous-espèce grise de la fonte blanche se rapproche d'autant plus des propriétés de la fonte grise qu'elle est plus foncée en couleur.

Entretenue long-temps à la chaleur blanche, la fonte grise devient de plus en plus fragile et incohérente, n'offre plus qu'une faible résistance et finit par se convertir entièrement en oxide. Si, au contraire, la température est portée rapidement jusqu'au point de fusion, la couche d'oxide devenue liquide couvre et protége la surface du bain. Exposé dans cet état à un vent fort, le métal s'oxide entièrement, si l'on enlève les scories à mesure qu'elles se forment, jusqu'à ce que toute la masse liquide soit réduite en laitier.

Si la fonte grise est tenue en bain sans éprouver l'action d'un fort courant d'air, elle conserve son état métallique, sa couleur s'éclaircit sans cependant passer au blanc, sa texture reste toujours grenue, ne devient jamais rayonnante comme celle de la fonte blanche, et sa dureté diminue. Ce fer cru prend alors un certain degré de malléabilité, et se rapproche de la nature du fer forgé, sans cependant pouvoir se souder.

Ce qu'il y a de remarquable, c'est que la fonte grise qui, adoucie par le repos de masse, se comporte dans le forgeage comme le fer mal affiné, sous le rapport de son aigreur, n'est pas susceptible de prendre la trempe. Plus on la tient long-temps en bain, en la soumettant à l'action lente de l'air atmosphé-

rique, et plus on augmente sa résistance et sa malléabilité; cette opération ne peut devenir néanmoins une méthode d'affinage, à cause de la grandeur du déchet, de la difficulté de renouveler toujours la surface du bain et principalement à cause de la mauvaise qualité du produit *.

116. La fonte grise liquéfiée à l'abri de l'air et refroidie lentement, conserve toutes les propriétés qu'elle avait avant la fusion. Si elle est couverte d'une couche de charbons, elle devient plus foncée en couleur après son refroidissement; on peut la fondre à plusieurs reprises sans changer sa nature; mais si on la refroidit subitement en la projetant sur une plaque froide ou sur un sol humide, elle éprouve un changement total: de grise et douce, elle devient blanche, dure et aigre. La granulation et l'arrosage avec de l'eau, sont les moyens les plus efficaces que l'on puisse employer pour parvenir à ce but; c'est par cette raison que les objets coulés en fonte grise, dans un sable humide, sont blancs vers les bords et gris au centre de la cassure: cet effet n'a point lieu dans les gros objets, parce que la masse de la fonte est trop considérable pour se figer subitement, même sur les bords. Les objets minces, fabriqués dans les mêmes circonstances, présentent souvent une cassure entièrement blanche.

117. *La fonte blanche*, soumise aux températures élevées, se conduit d'une tout autre manière; exposée au contact de l'air et à l'action de la chaleur au-dessous du point de fusion, elle perd sous la couche

---

* Il est digne de la plus grande attention que la fonte grise adoucie ne puisse prendre la trempe; ce fait fournit une des plus fortes preuves en faveur des aperçus théoriques de M. Karsten. Le T.

d'oxide sa texture rayonnante et sa couleur blanche, devient grenue, grisâtre, douce, malléable, et se rapproche du fer forgé. On peut hâter ces changemens, en l'enduisant d'une substance infusible et poreuse, afin de la préserver du contact immédiat de l'air atmosphérique, sans néanmoins empêcher le fluide de pénétrer en petite quantité jusqu'au métal. La poussière de charbon produit cet effet, quoiqu'imparfaitement; le graphite convient davantage, mais on doit lui préférer la chaux, l'argile réfractaire, la calamine, les cendres et particulièrement les cendres d'os: ces différentes matières ont pour but de diminuer la formation de l'oxide ou l'influence de l'air sur le métal. La fonte grise éprouve ces modifications à un degré beaucoup plus faible, sur-tout lorsqu'elle est enveloppée dans la poussière de charbon.

118. La fonte blanche, exposée à une chaleur lente avec ou sans enduit, devient entièrement réfractaire. Une chaude faible et de peu de durée, ne produit ce changement qu'à la surface. Si alors on élève la température, le noyau intérieur, qui ne change point de nature, est mis en fusion; et la couche d'oxide, sous laquelle se trouve une couche d'acier malléable, restant à l'état solide, laisse sur la sole du four, une enveloppe creuse qu'on appelle *carcas*. Liquéfié de cette façon, le fer cru présente des propriétés variables selon les circonstances de la fusion. Si la chaleur a été prolongée long-temps, la fonte sera épaisse et matte en sortant du foyer; après le refroidissement, elle aura de la douceur, une texture grenue, une couleur grisâtre dans la cassure, un peu de malléabilité, et elle se rapprochera de l'acier: en cet état, elle est si peu fusible qu'on ne peut la liquéfier à la

température de la fusion du fer cru. Si, au contraire, le coup de feu a été fort et soutenu, il se forme peu d'oxide, et la fonte est bien plus liquide; après le refroidissement, elle reprend sa cassure rayonnante et sa couleur blanche. Il en sera de même, si elle est fondue dans des creusets sans le contact de l'air atmosphérique, ou dans les bas fourneaux, au milieu des charbons.

Elle entre plus tôt en fusion que la fonte grise, sans jamais devenir aussi coulante. Si l'on dirige sur le bain, le jet d'air d'une forte machine soufflante, on peut aussi la convertir entièrement en scories. L'action lente de l'air atmosphérique lui fait éprouver les mêmes changemens qu'à la fonte grise (115), mais ces changemens arrivent plus vîte, de sorte qu'elle devient plus tôt malléable; elle est d'ailleurs plus disposée à prendre les propriétés de l'acier que celles du fer.

119. En résumé, voici quelles sont les différences essentielles entre ces deux espèces de fer cru, soumises aux températures élevées : la fonte grise ne se couvre pas aussi vîte d'une couche d'oxide pendant le grillage, elle conserve plus long-temps sa première nature, et finit par perdre toute espèce de ténacité; loin de prévenir cet état d'incohérence, à l'aide d'un enduit poreux, on l'augmente encore, si c'est de la poussière de charbon dont on fait usage. Mise en fusion, elle devient beaucoup plus liquide que la fonte blanche, et elle exige plus de temps et une plus forte influence de l'air pour prendre un certain degré de malléabilité.

La fonte blanche se couvre plus vîte d'une couche d'oxide, perd plus tôt sa nature de fonte et devient alors douce, grenue et aciéreuse : si on l'enduit d'une substance poreuse, on accélère ces changemens. A

l'état liquide, elle ne demande qu'une faible influence de l'air pour acquérir de la malléabilité. Elevée rapidement au point de fusion, elle conserve sa nature de fonte et sa liquidité, quoiqu'elle s'épaississe très-vîte en sortant du foyer; refroidie, elle possède encore sa dureté, son aigreur, sa texture et sa couleur. Si on la jette dans un moule, son aigreur augmente à tel point que les objets coulés se brisent avant le refroidissement *.

120. La fonte grise chauffée au-dessous du point de fusion, résiste plus long-temps à l'action combinée de l'air et de la chaleur; mais elle se change à la fin en une matière incohérente dont seulement les parties séparées paraissent avoir quelque malléabilité. La fonte blanche subit un changement total dans sa nature : elle devient douce, grenue, passe de la couleur blanche au gris et devient assez malléable pour pouvoir se forger en barres. Tenue en bain, la fonte grise reste long-temps liquide, et demande pour changer de nature plus de temps et un plus fort courant d'air que n'en exige la fonte blanche; celle-ci s'épaississant et devenant malléable dans un temps plus court, fournit aussi une plus grande quantité de scories, ou ce qui revient au même, elle subit un déchet plus considérable.

121. Il résulte de tout ceci que c'est la fonte grise qu'il faut refondre de préférence, parce qu'elle acquiert plus de liquidité et ne subit pas de si fortes modifications par l'influence de l'air atmosphérique.

---

* La fonte blanche adoucie devient donc susceptible de prendre la trempe, tandis que la grise se rapproche du fer ductile (Voyez le paragraphe 115 et la note).

Le T.

On doit avoir soin pendant l'opération, de préserver le métal du contact de l'air autant qu'il est possible, et d'élever la chaleur avec rapidité, jusqu'au point de fusion, à moins que la fonte ne soit à l'abri de l'air.

La fonte grise, étant plus liquide que la blanche, remplit mieux les moules, fige moins vîte, donne moins de déchet et présente plus de résistance que l'autre qui conserve à la deuxième fusion sa dureté et son aigreur. Ces principes recevront par la suite un plus grand développement, et alors il sera question aussi des cas d'exception à la règle.

On doit luter les creusets, ou ce qui vaut mieux encore, couvrir la fonte d'une couche de substances vitrifiables : c'est un moyen certain de la garantir du contact de l'air et de lui conserver toute sa liquidité. Si on la refond dans un fourneau, au milieu des charbons embrasés, on doit craindre d'employer un vent trop faible, dont l'action incertaine et lente produit un déchet considérable, et altère les propriétés du fer cru.

Le défaut de chaleur est encore plus préjudiciable dans les fours à reverbère; non-seulement la fonte grise perd avant de se fondre une grande partie de sa ténacité (120), mais parvenue au point de fusion, elle présente une couleur rouge, reste épaisse et coule lentement du foyer; après le refroidissement, elle est noire dans sa cassure et plutôt écailleuse que grenue, possède un peu de malléabilité et n'offre plus qu'une faible résistance : ce sont les écailles prises séparément qui paraissent être malléables, mais elles manquent de cohérence entre elles. Exposée assez long-temps à ce faible degré de chaleur, la fonte se change en une matière pulvé-

rulente qu'on ne peut plus mettre en liquéfaction; fondue rapidement et tenue en bain, elle devient au contraire plus résistante et plus douce, et sa couleur s'éclaircit en même temps.

On ne devrait jamais refondre la fonte blanche au four à reverbère : dans les circonstances les plus favorables (lorsque la fusion est rapide), elle donne toujours un produit aigre, en subissant un déchet considérable; dans le cas contraire, le déchet augmente encore, la fonte cesse d'être coulante et ne remplit point les moules.

122. La surface des objets coulés, lors même que la fonte est très-grise, possède souvent une grande dureté due au refroidissement subit, qui provient de l'humidité des moules. Cet inconvénient n'a rien de fâcheux, sous le rapport de leur aspect; la fonte étant devenue blanche et plus compacte, la surface de ces objets paraît plus belle; mais ils deviennent cassans et difficiles à travailler au ciseau, à la lime, au foret et sur le tour. On a donc cherché à remédier à cet inconvénient. Réaumur fit de nombreux essais pour adoucir la fonte et lui communiquer un plus haut degré de ténacité. On ne peut douter qu'un simple recuit ne conduise à ce but, mais il ferait naître une épaisse couche d'oxide, que l'on diminue en couvrant la surface du fer cru d'une substance poreuse.

Réaumur recommande pour enduit le graphite, et Rinman les cendres d'os. Le premier de ces auteurs attachait le plus haut prix à l'art d'adoucir la fonte; il espérait que l'industrie en tirerait un avantage considérable, qu'une grande partie d'objets fabriqués aujourd'hui en fer forgé pourraient l'être par la suite en fonte; mais cette méthode d'abréger la prépara-

tion du fer, entraîne dans la pratique, une foule d'inconvéniens : la fonte grise adoucie perd sa résistance, et la fonte blanche se couvre quelquefois d'une si forte couche d'oxide que la forme des objets en est détériorée. Il est avantageux cependant, dans certaines circonstances, de ramollir le fer cru, ou d'augmenter la résistance des objets coulés; il suffit alors de les recuire avec un enduit poreux quelconque : le sable quartzeux même peut servir à cet effet.

DE L'ACTION DE L'OXIGÈNE SUR LE FER.

123. En examinant le fer dans les températures élevées, on ne pouvait passer sous silence les changemens qu'il éprouve par l'influence de l'air atmosphérique : c'est l'examen de sa manière d'être lorsqu'il est soumis à la chaleur avec et sans le contact de l'air, qui répand le plus de lumière sur la nature de ce métal, considéré dans ses trois états différens.

A une basse température et dans un air sec, il ne subit aucune modification; son affinité pour l'oxigène ne se manifeste qu'à un certain degré de chaleur.

On ne peut révoquer en doute que les couleurs du recuit (86) ne soient un effet de l'oxidation, mais on ignore la nature de cette combinaison avec l'oxigène. Ces couleurs répandues comme un léger souffle sur la surface du métal, échappent à toutes les opérations de la chimie. Elles disparaissent avant la chaleur lumineuse, et avec elles disparaît aussi l'éclat métallique. Le fer est alors couvert de cette enveloppe grise qu'il porte toujours, et que Berzélius prend pour un sous-oxide, pour une combinaison du métal avec si peu d'oxigène, qu'elle ne peut former de sel avec les acides.

Les couleurs du recuit indiquent-elles un degré d'oxidation plus faible encore? c'est ce qu'on ne peut décider avec certitude, dans l'état actuel de nos connaissances. Le fer se combine-t-il avec ses sous-oxides (si toutefois il en existe plusieurs)? ce fait serait contraire à l'analogie, et rien d'ailleurs n'annonce une semblable combinaison. Mais il serait possible que, enveloppé déjà d'une couche d'oxide, et soumis ensuite à la chaleur blanche, au milieu d'un courant d'air, il pût subir dans toute sa masse un degré d'oxidation très-faible et inconnu jusqu'à présent. Les taches jaunes et bleues qu'on voit dans la cassure des fers dits brûlés, sont entièrement semblables aux couleurs du recuit de la deuxième série. Une ou plusieurs chaudes suantes, sans le contact de l'air, suffisent ensuite pour lui rendre sa première qualité: ce fait incontestable vient à l'appui de nos assertions.

L'expérience nous prouve aussi que le fer ductile exposé long-temps à la chaleur blanche, mais à l'abri de l'air, ne change point. Si, au contraire, il n'est pas entièrement dérobé à l'action de l'air, sa surface se couvre d'une couche d'oxide qui le préserve des progrès de la combustion, sans pouvoir cependant le défendre complétement de l'influence de l'air; et alors il perd sa ténacité et devient cassant : la couche d'oxide agit dans ce cas de la même manière qu'un enduit poreux quelconque. Il semble résulter de tout ceci, que la mauvaise qualité du fer brûlé * (98, 102) provient d'un état d'oxidation extrêmement faible,

* Nous avons employé jusqu'ici le terme de *fer brûlé*, comme une expression vulgaire ou d'ouvrier; il deviendrait scientifique, si les conjectures de M. Karsten se confirmaient.

Le T.

dont la suite naturelle est un changement de texture, de ténacité et de couleur.

124. Les *battitures*, *paillettes* ou *écailles*, qui ne se produisent sur le fer qu'à la chaleur lumineuse, depuis le rouge jusqu'au blanc, sont formées d'un oxide au plus bas degré d'oxidation de ceux dont les propriétés nous sont connues. Ce protoxide contient, selon les expériences chimiques les plus certaines, 77,22 de fer et 22,78 d'oxigène. D'après ce rapport, 100 parties de fer prennent 29,5 d'oxigène, ou, ce qui revient au même, le métal, en passant à l'état d'oxide, doit augmenter en poids de 29,5 pour cent.

125. Elevé rapidement au point de fusion du fer cru, le protoxide fond en un verre noir et poreux, qui ne diffère point des battitures, quant à la composition. Ces scories paraissent cependant constituer alors une combinaison plus intime avec l'oxigène, car leur réduction présente de plus grandes difficultés. Dans les essais en petit, 100 parties de battitures ou de scories de forges devraient donner 77,22 de fer, mais il n'a pas encore été possible d'en retirer par la voie sèche une si forte dose de métal.

126. Les battitures exposées assez long-temps à une chaleur forte et soutenue, se changent peu à peu en une poudre brune dont la couleur devient de plus en plus claire, et finit par passer au rouge brunâtre. C'est alors que cet oxide parvenu au maximum d'oxidation, forme le *safran de mars astringent*. Il est composé de 69,34 de fer, et de 30,66 d'oxigène; ou, ce qui revient au même, 100 parties de fer peuvent se charger de 44,215 d'oxigène. Ce métal augmente donc en poids de 44,215 pour cent. Le peroxide de fer est inaltérable dans les divers degrés de température, jusqu'à la cha-

leur blanche la plus forte; alors il laisse dégager une partie de son oxigène, passe à l'état de protoxide et de scories vitrifiées : 144,215 d'oxide cèdent 44,215 — 29,5. = 14,715 d'oxigène, et donnent 129,5 de scories contenant 100 parties de fer.

127. Avant la nouvelle théorie de la combustion, on ne pouvait expliquer ni l'augmentation de poids d'un métal passé à l'état d'oxide, ni le phénomène inverse qui résulte de la réduction des oxides à l'état métallique. Les auteurs varient beaucoup sur la quotité de cette augmentation de poids; on en doit chercher la cause dans la nature même de l'oxide. Il est indubitable que le fer forgé contient plus de fer pur que l'acier, et celui-ci plus que la fonte; mais c'est un moyen très-défectueux que d'en vouloir déterminer la quantité en les oxidant et en comparant le poids des oxides entre eux, ainsi qu'à celui des métaux : dans cette opération, on ignore toujours ce que deviennent les matières étrangères, et elles doivent nécessairement influer sur le poids des oxides. Ajoutons à cela, que les contradictions nombreuses des auteurs anciens ne peuvent même s'expliquer par la différence de la quantité de fer pur contenu dans ces trois métaux *.

128. Les chimistes ne purent long-temps s'accorder sur les divers états d'oxidation du fer. Le protoxide passant à l'état de peroxide, subit dans son poids une

* La qualité du fer est si variable que l'on ne trouve jamais deux échantillons entièrement semblables; il s'ensuit que sa composition doit varier aussi, et ce qu'on dit du fer forgé s'applique à plus forte raison au fer cru. Il n'est pas étonnant, d'après cela, qu'il y ait si peu d'harmonie entre les résultats obtenus par les divers auteurs.

Le T.

augmentation graduelle. M. Berthollet en a conclu que le nombre des oxides était égal à celui de ces augmentations successives. D'autres chimistes firent observer que ces oxides de M. Berthollet ne sont que des mélanges de fer et d'oxides dans des proportions variables à l'infini; puisque toute la masse ne peut passer que par partie au summum d'oxidation. Telle est l'opinion de Proust, de Bucholz, de Berzélius, etc.; tous les chimistes l'ont adoptée depuis, avec d'autant plus de raison qu'une foule de mélanges semblables existent dans la nature, et que par-tout on voit les combinaisons suivre des lois constantes dans leurs proportions.

Il existe aussi des chimistes, qui, sans adopter le système des proportions variables, croient cependant que le fer est susceptible de s'oxider à un troisième degré placé au milieu des deux autres, et dont la composition serait 72,50 de fer et 27,50 d'oxigène. Cette opinion fondée seulement sur des phénomènes observés dans la décomposition des sels, ne paraît guère probable, car on peut expliquer ces faits sans adopter l'existence d'un troisième oxide *.

---

* Cette opinion est fondée, non-seulement sur les phénomènes que présentent les oxides de fer combinés avec les acides, mais aussi sur ceux qui se manifestent pendant la décomposition de l'eau; attendu qu'on obtient un oxide contenant 37,8 parties d'oxigène, sur 100 de fer, et qu'on ne parvient pas, en prolongeant l'opération indéfiniment, à le porter au summum d'oxidation. Ceux qui, d'après l'opinion de M. Berzélius, pensent que cet oxide est un composé de protoxide et de péroxide, supposent que l'affinité des deux composans empêche le premier de s'oxider au maximum. Mais ils n'ont pas fourni une preuve positive de la non existence de l'oxide intermédiaire. Voyez les observations de M. Gay-Lussac sur l'oxidation de plusieurs métaux. Annales de Chimie et de Physique, tome 1er., page 32 et suivantes. Le T.

129. Le protoxide est attirable à l'aimant, tandis que le peroxide pur ne l'est aucunement. Plusieurs chimistes ont cru cependant que le peroxide exerçait une légère action sur l'aiguille aimantée ; ils sont tombés dans cette erreur, en examinant des mélanges ou des combinaisons d'oxides dont la nature nous offre beaucoup d'exemples *.

DE L'ACTION DE L'EAU SUR LE FER.

130. L'eau agit déjà sur le fer à la température ordinaire, quoique très-lentement ; elle oxide ce métal qui la décompose : cet effet, plus fort à chaud, devient instantané quand on la projette sur le fer rouge. L'oxide obtenu par la décomposition de l'eau est très-variable dans sa nature, quel que soit du reste le degré de température auquel on ait fait l'opération ; c'est presque toujours un mélange des deux oxides de fer. On en fait usage dans les pharmacies ; car l'oxide formé

---

* Les intéressantes expériences de Hauy, citées dans le deuxième tome des Annales des Mines, page 329, pourraient faire croire au premier abord, que même le péroxide de fer est sensible à l'aimant, lorsqu'on a soin de le griller d'abord et de diminuer la résistance provenant du frottement de l'aiguille, en combinant son action avec celle d'un barreau aimanté ; mais il faut se rappeler qu'aucune de ces expériences n'a été faite sur un oxide artificiel parfaitement pur, comme par exemple, le rouge de colcotar, et que même plusieurs morceaux de fer oxidé pulvérulent, n'ont donné aucun signe de magnétisme : il est donc assez probable que les hématites qui agissaient sur l'aiguille, contenaient une certaine quantité de protoxide. C'est parce que les oxides les plus purs offerts par la nature, sont toujours mélangés ou combinés avec une petite dose de fer oxidé au premier degré, que l'aiguille aimantée peut servir à constater la présence de ce métal dans les minérais.

Le T.

par l'action combinée de la chaleur et de l'air atmosphérique, n'est ni assez fin, ni assez pulvérulent pour les préparations pharmaceutiques. Ce mélange porte le nom d'*éthiops martial*. Le peroxide chauffé avec de l'huile ou d'autres substances combustibles, donne aussi de l'éthiops martial *.

131. L'eau pure n'exerce aucune action dissolvante sur le fer et ses oxides; c'est ce que Westrumb a prouvé contre Landriani et Girtanner.

132. La limaille de fer arrosée long-temps avec de l'eau, passe de la couleur noire au brun rougeâtre, et par conséquent au maximum d'oxidation. Cette poudre sèche et recuite donne, d'après Berzélius, 85°, 5 pour cent d'oxide rouge qui n'est nullement attirable à l'aimant. La perte de 14,5 n'est que de l'eau pure. Il s'ensuit que le peroxide peut se combiner avec l'eau dans une proportion telle que l'oxigène de celle-ci est la moitié de l'oxigène contenu dans l'oxide; ce corps s'appelle *hydrate de fer*. On peut l'obtenir aussi en précipitant l'oxide de fer d'une dissolution, à l'aide de l'ammoniaque caustique, et en laissant digérer le précipité dans l'alkali volatil. Ce procédé me donna des hydrates dont les parties constituantes ne s'écartaient point des proportions de Berzélius. La quantité d'eau combinée avec l'oxide, ne doit pas

---

* Il paraîtrait au contraire, d'après des expériences plus récentes, que le fer ne décompose pas l'eau à la température ordinaire, lorsqu'ils sont l'un et l'autre parfaitement purs, et que le liquide est purgé d'air. La décomposition ne commence qu'à 50°; mais si l'oxidation est déterminée par une cause quelconque, elle peut continuer par l'action seule de l'eau; parce que le fer et son oxide peuvent être considérés comme deux corps d'énergie électrique différente. Voyez les Annales de Chimie, tome 11.

Le T.

être confondue avec celle qui lui est adhérente et qui se dégage déjà à la chaleur de l'ébullition.

133. On ne connaît point de protoxide hydraté. Les précipités verts qu'on obtient à l'aide des alkalis et qu'on pourrait regarder comme de semblables hydrates, sont composés de protoxide et de perhydrate: exposés à l'air, ils passent avec rapidité au maximum d'oxidation. L'hydrate ne peut se dissoudre dans l'eau; sa couleur caractéristique est le jaune.

DE L'INFLUENCE DE L'AIR HUMIDE SUR LE FER.

134. Si l'air parfaitement sec ne commence son action sur le fer qu'à la température où se manifestent les couleurs du recuit, il n'en est pas de même lorsqu'il est chargé d'eau. Une expérience journalière nous prouve que ce métal exposé à l'air humide, se couvre bientôt d'une couche jaune appelée *rouille:* elle est due à l'action de l'eau; il suffirait de sa couleur pour le prouver. Les opinions sur la rouille sont encore partagées. Sa composition, d'après Bergman, serait: acide carbonique 24, oxide de fer 76 parties; ce qui paraît inexact. Hausmann la croit composée d'eau et d'oxide; Thomson, d'eau et de sous-carbonate de fer. Il est certain qu'elle constitue un véritable hydrate qui, d'après mes propres expériences, est combiné avec un sous-carbonate de fer *.

135. La rouille paraît moins vîte sur la fonte blanche

* Il paraît que la rouille est un corps dont la composition est très-compliquée et très-variable; elle donne par la distillation de l'ammoniaque, de l'acide sulfureux et de l'huile brune provenant de matières animales. Voyez une notice de M. Vauquelin, insérée dans les Annales de Chimie et de Physique, vol. 24, page 99.

que sur l'acier et sur la fonte grise. Le fer forgé et sur-tout le fer rouverin en sont attaqués le plus promptement. Le fer tendre lui résiste davantage. L'air sec et le poli des surfaces sont les meilleurs moyens d'en éviter les fâcheux effets : les endroits poreux, les cavités, les cendrures se rouillent d'abord. La nature des substances avec lesquelles on frotte le fer, influe aussi sur la durée du poli. Les objets polis sont préservés de la rouille par des enduits de corps gras, tels que l'huile d'olive purifiée, et en général toutes les huiles qui ne contiennent point d'eau et qui ne s'épaississent pas à l'air ; on peut employer pour cet effet l'huile de noix, de faîne, et sur-tout, d'après M. Conté, un mélange d'un cinquième de vernis gras et de quatre cinquièmes d'huile de thérébentine rectifiée. La surface des objets en fer et en acier, débarrassée de ces enduits, reprend ensuite tout son éclat.

136. Lorsqu'il n'est pas nécessaire de conserver au métal sa couleur et son éclat, on le couvre d'un vernis et souvent même d'une couche de goudron, que l'on fait sécher à l'air, ou brûler. Ce dernier moyen de dessication ne s'emploie que pour les gros objets. L'art de vernir le fer est parvenu depuis peu de temps, à un haut degré de perfection. Une autre méthode de le protéger contre la rouille, c'est de le bleuir (85). On ignore la raison en vertu de laquelle les surfaces bleuies résistent davantage. Le brunissage enfin remplit le même objet; il consiste à enduire la surface du fer de substances corrosives, d'acides, principalement d'acide hydrochlorique ; à l'exposer plusieurs jours à l'air pour la couvrir de rouille sur tous les points, à l'enduire d'huile d'olive, et à la frotter ensuite, jusqu'à ce que le linge n'en soit plus taché.

C'est à l'aide de ce procédé qu'on donne aux canons de fusils une assez belle couleur brune *.

DE L'ACTION DU CHARBON SUR LE FER.

137. Le fer forgé mis en fusion sans le contact d'aucune substance étrangère, conserve toutes ses propriétés (106): fondu dans la poussière de charbon, il devient acier ou fonte, et dans ce cas, il se liquéfie à un degré de chaleur plus faible. Ce fait, dont on a reconnu la vérité depuis long-temps, en fabriquant l'acier cémenté, n'a pu conduire les anciens métallurgistes à une théorie sur la nature de l'acier et de la fonte. Bergmann fut le premier qui provoqua leur attention sur cet objet: Rinmann, son digne successeur, fit usage de ce fait pour expliquer le passage du fer, d'un état métallique à un autre. Mais l'imperfection des connaissances chimiques d'alors, n'admettait point d'explication satisfaisante pour toutes les circonstances. Le phlogistique, élément essentiel des matières combustibles, conçu d'une manière vague, ne pouvait servir de base pour approfondir cette question. Ces deux savans se virent donc forcés d'adopter deux phlogistiques, l'un très-subtil et l'autre d'une nature plus

* Le caoutchouc fournit aussi un excellent moyen de préserver les ustensiles de fer de la rouille. Cette substance se fond à-peu-près à la même température que le plomb; lorsqu'elle est liquide, on la remue avec une spatule pour l'empêcher de s'attacher au fond. On en applique ensuite une légère couche sur les objets que l'on veut vernir. M. Perkin dissout le caoutchouc dans l'huile de térébenthine : le vernis qui en résulte est ferme et ne s'altère pas à l'humidité de l'air. Voyez les Annales de Chimie et de Physique, tome 19, page 443.

Le T.

grossière; le premier constituait l'élément caractéristique des combustibles, tandis que le deuxième n'était qu'une substance charbonneuse.

La révolution de la chimie, qui anéantit le système du phlogistique, jeta en France les premiers rayons de lumière sur les modifications du fer, dans ses trois états différens. Schéele avait déjà reconnu la plombagine comme une matière charbonneuse, en 1779; mais c'est aux chismistes français, Vandermonde, Berthollet et Monge, que l'on doit des analyses positives, qui ont répandu un grand jour sur la nature de cette substance énigmatique et sur les modifications qu'elle fait éprouver aux propriétés du fer. Depuis cette époque, la fonte et l'acier furent considérés par-tout comme des composés de fer et de charbon, ou de graphite dans des proportions très-variables; et l'on reconnut en même temps, que l'un devait en contenir une plus forte dose que l'autre, puisque l'acier se rapprochait de la nature du fer cru, en se chargeant d'une plus grande quantité de charbon.

Partant de ces principes, Clouët et Mushet se proposèrent d'obtenir au moyen de la fusion, des aciers de tous les degrés de dureté, selon la dose de carbone qui devait être employée dans l'opération. Mais bientôt ils durent s'apercevoir que les propriétés de l'acier ne pouvaient être déterminées *à priori*, que tantôt il devenait plus dur et tantôt plus mou qu'il ne devait l'être, d'après les proportions du charbon employé. Clouët soumit ensuite la nouvelle théorie à une rude épreuve, en formant de l'acier avec des corps qui ne contenaient le carbone qu'à l'état d'acide carbonique. Ces expériences, si elles sont vérifiées, donneront un développement inattendu à la théorie; mais il est proba-

ble que la pratique n'en profitera jamais, parce qu'elle connaît des moyens plus simples de préparer l'acier fondu.

Tiemann a montré, par une suite d'expériences intéressantes, que, dans la réduction des oxides ou des minérais de fer, à l'aide de la poussière de charbon, il fallait avoir égard à beaucoup de circonstances accessoires; que du reste, on obtenait selon les proportions de ce réactif, ou du fer affiné, ou de l'acier, ou de la fonte. Il répéta les expériences de Clouët et de Mushet; il en confirma une partie et en rectifia une autre. Quoi qu'il en soit, on peut affirmer qu'il existe des causes inconnues agissant d'une manière décisive sur la nature des résultats. Parmi ces causes, il faut mettre en première ligne les variations de la température, qu'on ne peut graduer avec exactitude, et dont l'influence est si prononcée, particulièrement sur la texture du fer cru.

138. Pour juger de l'action du fer sur le carbone, nous examinerons d'abord un composé de ces deux corps, dans lequel le premier domine; je veux parler de la plombagine ou du graphite: c'est un produit de la nature, qui se forme aussi dans les hauts fourneaux. Les fondeurs l'appellent *limaille* ou *écume de fonte*. Chauffé dans des vaisseaux clos au plus haut degré de chaleur, il ne subit aucune altération, on n'est pas encore parvenu à le fondre. A la température ordinaire, il est inattaquable par les acides, par les alkalis et généralement par tous les corps: dans les températures élevées, il se conduit à l'égard de ces réactifs comme une substance charbonneuse. Grillé long-temps à l'air libre, il brûle et donne un oxide de fer pour résidu. On en a conclu que le graphite est un composé de fer et de charbon, ce qui depuis a été pleinement confirmé

par les chimistes Davy, Allen et Pepys. Leurs expériences prouvent aussi qu'il ne contient pas une trace d'oxigène. On n'est pas encore d'accord sur les proportions de ses composans : les uns fixent la quantité de fer à un dixième, les autres seulement à un vingtième du poids total. On peut croire qu'il existe deux espèces de graphites ; la différence dans leurs couleurs et leurs éclats, donnent à cette supposition un certain degré de probabilité.

139. La fonte et l'acier sont aussi des composés de fer et de carbone ; ils diffèrent de la plombagine en ce que le métal y est partie dominante. Les chimistes et les métallurgistes confondant toujours, par une manière de voir inexplicable, les effets du charbon avec ceux du graphite, ne firent aucune attention à la différence des combinaisons du carbone avec le fer ; quoique déjà Rinman eût remarqué que le graphite n'était point une partie constituante essentielle du fer cru, que les mêmes fontes pouvaient en contenir ou en être entièrement dépourvues. D'après leur théorie, la différence entre la fonte grise, la fonte blanche, l'acier dur, l'acier mou et le fer, ne devrait provenir que de la plus ou moins grande quantité de carbone contenue dans ces métaux : ils ne tenaient aucun compte du mode de cette combinaison.

Mushet a cherché une loi générale pour classer les fers suivant leur quantité de carbone, et leur assigner de cette manière la place qu'ils doivent occuper parmi les fontes, les aciers et les fers ductiles. D'après ses expériences, la dureté du fer augmente en proportion du carbone qu'il contient, jusqu'à ce que la dose de ce dernier s'élève à un vingt-cinquème de la masse totale ; alors le métal perd sa texture grenue et prend

une couleur blanche argentine. Passé cette limite, la dureté diminue, à mesure que la quantité de charbon s'accroît, comme on peut le voir par le tableau suivant.

DOSE DE CHARBON contenue dans le fer.	RÉSULTATS.
$\frac{1}{200}$	Acier fondu mou.
$\frac{1}{100}$	Acier fondu ordinaire.
$\frac{1}{90}$	Acier fondu un peu dur.
$\frac{1}{50}$	Acier fondu très-dur.
$\frac{1}{25}$	Fonte blanche.
$\frac{1}{20}$	Fonte mêlée.
$\frac{1}{15}$	Fonte très-grise.

140. Plusieurs phénomènes dont il sera question plus bas, déterminèrent les chimistes Monge, Berthollet et Vandermonde à admettre l'existence de l'oxigène dans la fonte blanche. Il est probable qu'une légère différence de carbone leur parut insuffisante pour expliquer la différence considérable des propriétés de ces deux espèces de fer cru. Peut-être que cette hypothèse ne les aurait point séduits, si leur attention se fût portée sur le mode de combinaison du carbone avec le fer dans l'une et l'autre espèce de fonte.

L'analyse n'a jamais découvert une trace de graphite dans la fonte blanche, l'acier et le fer, ni dans la fonte essentiellement grise, une trace de carbone *.

* Quelque grise que soit la fonte, on y trouve du carbone qui n'est pas à l'état de plombagine, et quelque blanche qu'elle puisse être, elle donne toujours, par l'analyse, un peu de graphite, dont le poids cependant ne s'élève guère qu'au dixième de la quantité de carbone combinée avec la masse du métal. Voyez à ce sujet, et pour les paragraphes suivans, le mémoire qui est à la fin de ce volume. Le T.

Il s'ensuit que la fonte blanche, l'acier et le fer ductile, ne contenant que du carbone dont la dose suit une loi décroissante, se trouvent rangés dans une même classe; tandis que la fonte grise composée de fer et de graphite, offre une combinaison d'une nature différente. On conçoit difficilement comment une légère addition de carbone peut détruire la couleur, la texture, la ténacité de l'acier, et le changer en fonte blanche; mais le fait n'en est pas moins réel.

La détermination de la quantité de carbone contenue dans le fer, présente de grandes difficultés, comme nous le verrons plus tard. Si, dans mes analyses, je suppose un égal déchet, il s'ensuivra que les deux pour cent de carbone sont la limite où le tissu grenu de l'acier est remplacé par la texture lamelleuse de la fonte blanche.

141. Est-il un maximum pour la quantité de carbone contenue dans le fer cru ? c'est ce que nous ignorons encore. La fonte blanche la plus carburée que j'aie pu trouver m'en a donné cinq pour cent; mais il est nécessaire de consulter encore l'expérience, pour savoir s'il n'en existe point dont la proportion en carbone soit plus forte. Lorsqu'elle diminue jusqu'à deux pour cent, la texture lamelleuse et la couleur blanche n'en sont point altérées d'une manière sensible. Au-dessous de cette limite, la fonte devient grenue et d'une couleur grise qui s'éclaircit ensuite, à mesure que la dose de carbone va en diminuant, et que le métal, passant par une infinité de nuances, devient fonte aciéreuse, acier dur, acier ordinaire, acier mou, acier ferreux et fer aciéreux. Ces phénomènes que présentent aussi le fer et l'acier exposés à la chaleur rouge avec le contact de l'air (98,108, 117,119,120), peuvent donc s'expliquer d'une ma-

nière satisfaisante par la combustion de leur carbone. Un autre fait d'expérience relevant du même principe, c'est que la fonte blanche grillée et couverte d'une forte couche d'oxide, ne peut s'étirer en barres, à moins que les recuits ne soient répétés un grand nombre de fois pendant le forgeage, et à moins qu'on ne la rafraîchisse dans l'eau pour hâter la combustion du fer carburé.

142. Les quantités de carbone contenues dans les divers aciers, exigent encore des expériences multipliées pour être connues avec un certain degré de précision : dans les aciers que j'ai eu occasion d'analyser, cette substance variait entre 1,2 et 0,5 pour cent; dans l'acier cémenté, je n'en trouvais jamais au-delà de 0,9 pour cent. Bergman, dans son intéressant mémoire *De analysi ferri*, fixe le maximum à 0,8 et le minimum à 0,2 pour cent. C'est probablement un acier cémenté qui lui a donné une si faible dose de carbone. D'un acier semblable provenant de la Haute-Silésie, j'ai retiré 0,3 pour cent. Le fer pur ne devrait point contenir ce combustible; cependant il en existe qui en renferme jusqu'à 0,2 pour cent; alors il se rapproche de la nature des aciers. Dans tous les fers forts et durs, on en trouve au moins 0,1 pour cent; et même les fers les plus mous en retiennent encore 0,05 pour cent. Le fer dit brûlé ne m'a jamais donné une trace de carbone *.

143. La dose de graphite contenue dans la fonte

---

* D'après cela on pourrait donc obtenir du fer forgé qui ne contiendrait pas une trace de carbone; il suffirait de le brûler d'abord et de lui rendre ensuite sa ténacité par une chaude suante.

Le T.

grise, varie, d'après mes expériences, entre 2,75 et 4,75 pour cent. Il s'ensuit qu'en général cette fonte ne contient pas plus de carbone que la fonte blanche. Si la composition du graphite est de 90 de charbon et de 10 de fer, les quantités ci-dessus se réduiront à 2,475 et 4,275 pour cent; tandis que les limites des parties de charbon renfermées dans la fonte blanche, sont 2 et 5 pour cent. Ce n'est donc pas la plus ou moins grande quantité de ce combustible contenue dans le fer, qui est cause de la grande différence des propriétés de ces deux espèces de fonte : on ne doit l'attribuer qu'au mode de combinaison de ce corps avec le fer. Comme le graphite ne peut se former qu'à la température la plus élevée, on obtient rarement de la fonte grise, dans les opérations en petit, lors même qu'on agit sur des minérais disposés à donner dans les hauts fourneaux cette espèce de fer cru.

144. Nous avons vu au paragraphe 116, que la fonte grise refroidie subitement, passe à l'état de fonte blanche; de grise, douce et grenue, elle devient blanche, argentine, dure et lamelleuse. Ce changement complet prouve aussi que le graphite a besoin d'une haute température pour se former, et qu'il ne peut même subsister dans la fonte que par suite d'un lent refroidissement. Si la congélation est trop instantanée, le carbone contenu dans la plombagine, abandonne la petite partie de fer avec laquelle il est combiné, pour se dissoudre dans la masse entière, et donner naissance à la fonte blanche *. L'analyse nous prouve avec la dernière évidence, que dans cette transformation, la

* Si le graphite est un carbure de fer, la fonte blanche la plus carburée peut être considérée comme un sous-carbure.

Le T.

quantité de carbone contenue dans le fer est restée constante. La fonte très-grise m'a donné 4,4 de graphite, contenant 4,18 de charbon. Le même fer cru refroidi subitement et changé en fonte blanche, me donna 4,1 de charbon : la différence n'est donc que de 0,08 pour cent, différence très-faible que l'on peut imputer à l'inexactitude attachée à ces sortes d'opérations. On sait d'ailleurs que le carbone dont une partie est dissoute par les acides, ne se retrouve pas avec autant de précision que la dose de graphite renfermé dans la fonte.

145. D'après la nature de la fonte grise, nous pouvons à présent nous rendre raison de ses propriétés, comparées à celles de la fonte blanche : comme sa texture grenue, son faible degré de dureté, le temps prolongé qu'elle exige pour recevoir les couleurs du recuit et la chaleur lumineuse, les modifications qu'elle éprouve au contact de l'air dans les températures élevées, le degré de chaleur nécessaire pour la mettre en fusion, sa liquidité, enfin le défaut de se rouiller plus vîte que la fonte blanche *.

* Si l'on considère que la combinaison du fer avec le graphite dans la fonte grise, est, dans les températures inférieures, moins intime que celle du carbone avec le fer dans la fonte blanche, qu'une partie de la plombagine se trouve même à l'état de mélange dans la masse; on peut en conclure que la première ne peut affecter ni la texture, ni la compacité, ni la dureté, ni les autres caractères physiques de la fonte blanche, qui, vu l'intime combinaison entre le fer et le carbone, présente une neutralisation plus complète des propriétés de l'un et l'autre composant. L'espèce de mélange du graphite avec le fer, fait que la fonte grise arrive plus tard aux divers degrés de chaleur, qu'elle est moins fusible; et par la raison inverse, conservant mieux le calorique, elle est plus liquide, étant sortie du foyer de la chaleur. Enfin sa porosité l'expose davantage à l'action de la rouille. Le T.

La fonte grise décèle aussi la nature de sa composition lorsqu'elle se refroidit avec lenteur. Une partie du graphite tenu en dissolution dans la masse à une haute température est alors expulsé, comme les sels qui, saturant les eaux à un certain degré de chaleur, se déposent par l'effet du refroidissement.

146. Ce qui précède ne doit plus laisser de doute sur les deux modes différens dont le carbone est combiné avec le fer. La première de ces combinaisons où le graphite est dissout dans le fer pur, en proportions variables, et donne la fonte grise. La deuxième, dont la dose de carbone varie entre 5 et o pour cent, comprend les fontes blanches lamelleuses et grenues, ainsi que toute la série des aciers et des fers les plus durs et les plus mous. La combinaison du fer avec le carbone est de la plus haute importance dans l'étude de la sidérurgie. C'est à elle seule que sont dus les trois états de ce métal; c'est elle seule qui donne aux deux espèces de fer cru des propriétés si opposées, qui varie la dureté de l'acier et qui peut expliquer les phénomènes de la préparation du fer. On trouve de plus grands développemens à ce sujet, dans mes notes sur l'ouvrage de Rinman, pages 764, 799.

DE L'ACTION DU SOUFRE SUR LE FER.

147. Le fer a beauconp d'affinité pour le soufre, qui en augmente la fusibilité; chauffé au rouge seulement, il entre avec lui en liquéfaction. Parties égales de soufre et de métal, exposées un certain temps à la chaleur rouge dans un creuset fermé, donnent un culot qui présente une combinaison parfaite et qui pèse 158,73, si le poids du fer et celui du soufre sont représentés chacun par 100. La composition de ce proto-

sulfure attirable à l'aimant est de 37 de soufre et 63 de fer, ou, ce qui revient au même, 100 parties de fer se combinent avec 58,73 de soufre. On peut l'obtenir aussi en chauffant le soufre et le fer jusqu'au rouge dans un vaisseau distillatoire.

Le protosulfure soumis à l'action de la plus forte chaleur blanche, dans un vase hermétiquement fermé, est indécomposable; mais s'il est chauffé en contact avec l'air, le soufre s'échappe à l'état de gaz acide sulfureux. La décomposition a lieu également en plein air et par un fréquent arrosage fait avec de l'eau; le sulfure s'échauffe spontanément jusqu'au point où le soufre peut entrer en combinaison avec l'oxigène. A l'état naturel, le protosulfure s'appelle *pyrite magnétique.*

148. Le protosulfure, mêlé avec deux fois autant de soufre qu'il en contient lui-même, et soumis dans une cornue à une douce chaleur prolongée jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de soufre, donne un produit non magnétique parfaitement semblable à la pyrite ordinaire; si toutefois le degré de chaleur est convenablement gradué: 100 parties de fer se trouvent alors combinées avec 117 de soufre. Ce persulfure chauffé au rouge dans des vases clos, se décompose peu à peu et finit par passer à l'état de protosulfure. Il s'ensuit que 100 parties de pyrites, contenant 53,92 parties de soufre, en donnent 26,86 par la distillation; le résidu se compose de 73,14 parties de fer sulfuré au minimum. Mais si le coup de feu n'est pas poussé jusqu'au point de fusion, une partie de la pyrite ne peut se décomposer, et le produit en soufre est moins considérable.

149. Il n'existe point d'autre combinaison de fer et de soufre. Si quelquefois on rencontre des sulfures dont les proportions semblent différer de celles que nous

venons d'indiquer, on doit les regarder comme des dissolutions du fer métallique dans le fer sulfuré ou *vice versâ*. Les pyrites magnétiques les plus pures contiennent encore, d'après M. Berzélius, une certaine quantité de persulfure. C'est probablement pour cette raison que M. Stromeyer a retiré de ce minéral une plus forte dose de soufre. Des minérais de fer pyriteux traités dans les hauts fourneaux, donnent une fonte contenant du protosulfure en quantité variable. MM. Guenyveau, Proust, Hachette, Bucholz, Gehlen, Stromeyer et Berzélius, ont prouvé contre l'opinion de M. Berthollet, par une foule d'expériences qu'ils ont faites sur les sulfures, que le système des proportions indéterminées est inadmissible, que le fer et le soufre se combinent dans deux proportions constantes ; mais que ce métal, avec l'un et l'autre des deux sulfures, et ceux-ci entre eux présentent une infinité de combinaisons différentes *.

150. La fabrication du soufre repose sur la propriété des persulfures, de se décomposer en partie dans les températures élevées. La manière de les traiter et d'épurer les produits est l'objet d'une autre branche de la métallurgie.

151. Il suffit de mettre du soufre pulvérisé en contact avec du fer en limaille très-fine et de les arroser avec de l'eau, pour élever la température et pour produire un mélange de sulfure et de sulfate de fer. On ne connaît pas encore au juste quelles sont toutes les forces chimiques qui déterminent cette opération. Le

---

* Les pyrites pourraient être aussi, d'après M. Berzélius, des combinaisons de protosulfure et de protosulfate de fer. Voyez le Journal des Mines, 1820, vol. 5, page 239.

Le T.

fer enlève le soufre à la plus part des métaux ; c'est en vertu de cette grande affinité qu'on l'emploie dans la réduction du plomb, de l'argent et du mercure sulfurés.

152. Converti en sulfure, le fer devient très-fusible et forme une matière extrêmement aigre. La présence du soufre est donc très-préjudiciable à la préparation de ce métal. Il existe beaucoup de minérais qui, pour cette raison, ne peuvent être soumis à aucun traitement sidérurgique. L'influence de cette substance sur les propriétés du fer est si considérable, qu'une légère trace, à peine sensible dans l'analyse, peut le rendre rouverin. Sans prétendre que d'autres corps ne puissent lui communiquer le même défaut, nous devons croire cependant, et l'expérience le prouve d'une manière incontestable, qu'il le doit souvent à une faible dose de soufre.

On ne doit pas trop craindre de traiter des minérais qui donnent des fers légèrement rouverins ; ces fers sont d'ordinaire mous et tenaces ; mais on ne peut les travailler, si le vice qu'on cherche à détruire se manifeste à un haut degré. Il est impossible de fixer la quantité de soufre qu'ils peuvent contenir, sans que la soudabilité en soit diminuée d'une manière sensible, et de déterminer le maximum au-delà duquel le fer, ne pouvant plus se forger sous le marteau, devient impropre à nos usages. L'analyse chimique n'a pu répandre encore assez de lumières sur cet objet. Ce n'est qu'à l'aide d'expériences synthétiques qu'on s'est aperçu qu'un quart et même $\frac{1}{20}$ de soufre pour cent peuvent rendre le fer un peu rouverin.

DE L'ACTION DU PHOSPHORE SUR LE FER.

153. La propriété du phosphore, de brûler à une basse température, est un obstacle à sa combinaison avec le fer, un des métaux les plus réfractaires. Le meilleur moyen de l'effectuer, c'est de réduire le phosphate de fer par le charbon et une légère addition de borax. Le degré de chaleur nécessaire à cette opération, faisant rougir le métal, le dispose à se combiner avec le phosphore, au fur et à mesure que la réduction s'opère. Mais il est probable que le phosphure obtenu de cette manière, contient aussi une certaine quantité de charbon.

La réduction des oxides sans charbon et à l'aide du phosphore serait impraticable, parce que le degré de chaleur nécessaire pour l'opération ferait volatiliser le phosphore. Si cependant ce réactif est employé en forte dose, une partie du fer se réduit, et l'autre, se combinant avec l'acide phosphorique, à mesure qu'il se forme, passe à l'état de scories. M. Pelletier prétend avoir obtenu du phosphure de fer, en fondant le fer métallique avec l'acide phosphorique ou un phosphate : une partie du métal aurait réduit l'acide phosphorique, et l'autre se serait combinée avec le phosphore; mais cette assertion est inexacte, car le fer ne peut décomposer l'acide phosphorique, sans la présence du carbone.

154. Outre le moyen précité d'obtenir le phosphure, qui probablement est carburé, on peut le composer aussi avec de la limaille de fer qu'on chauffe dans un creuset, et à laquelle on ajoute du phosphore, à plusieurs reprises, ayant soin chaque fois de fermer le vase avec beaucoup de précaution.

Le phosphure de fer est gris, aigre et fusible; sou-

mis dans des vaisseaux clos, à la plus forte chaleur, il est inaltérable. Mais si la dose de phosphore qu'il contient est considérable, il paraît se décomposer à l'air et à la température ordinaire. Chauffé en contact avec l'air atmosphérique, il brûle et laisse, d'après Pelletier, de l'oxide pour résidu; mais il est probable que cet oxide est mélangé de phosphate de fer.

155. Existe-t-il une seule combinaison du fer avec le phosphore, ou en existe-t-il deux espèces comme avec le soufre; et le phosphure peut-il se dissoudre en toutes les proportions dans le phosphore? c'est ce qu'il n'est pas possible encore de décider. Mais il est certain que le premier peut se combiner avec le fer en proportions quelconques, et qu'il communique à ce métal une plus grande fusibilité.

Inconnu sous le rapport de sa composition, le phosphure se présente souvent à l'état de combinaison dans les fontes et les fers forgés. Ces fers possèdent une grande soudabilité et passent plus rapidement que tous les autres à la chaleur blanche; dans les températures élevées, ils sont mous, tendres, se travaillent avec beaucoup de facilité et ne répandent aucune odeur; mais, après le refroidissement, ils ne sont doués que d'une faible résistance. Leur fragilité augmente avec la dose de phosphure qu'ils contiennent. Quoiqu'il existe plus d'une substance qui puisse donner au fer cette mauvaise qualité, le phosphore doit en être accusé le plus fréquemment.

On ignore la quantité de phosphure dont le fer peut se charger sans devenir cassant à froid. Des fers assez mauvais n'en ont donné par l'analyse que 0,0005. Une très-petite portion suffit donc pour détruire leur ténacité. Il est en général difficile d'évaluer par l'ana-

lyse de si faibles quantités. Voulant faire des essais en grand aux forges de Creutzbourg, dans la Haute-Silésie, j'ajoutai à une loupe un pour cent de laitier provenant de minérais de fer terreux limoneux. Les matières fondues prirent aussitôt une couleur rouge, l'affinage rétrograda et le fer, quoique très-bien travaillé, devint cassant à froid. Ce laitier contenait tout au plus 5 pour cent d'acide phosphorique, ce qui ne ferait qu'un vingtième pour cent pour la loupe ; et l'acide renfermant 47,5 pour cent de phosphore, il s'ensuit que le fer pouvait contenir tout au plus un quarantième pour cent de cette substance *.

156. Bergmann et Meyer sont les premiers qui remontèrent à la cause de la fragilité du fer, en tant qu'elle provient du phosphore. Ils jetèrent sur les minérais ou sur le métal une quantité d'acide sulfurique concentré, égale au poids des matières; ils concentrèrent ensuite le mélange, y versèrent une grande quantité d'eau et laissèrent refroidir à l'air la dissolution, après l'avoir filtrée rapidement: il s'en précipita alors une poudre blanche qu'ils obtinrent en décantant et qu'ils lavèrent plusieurs fois, pour en séparer l'hydrate de fer. Cette poudre desséchée conserve sa couleur blanche, se dissout dans les acides, est décomposée par les alkalis (en abandonnant son oxide), se fond plus facilement que le fer cru et donne par la réduction avec le charbon, un culot que l'on croyait être un métal particulier, il reçut le nom de *sidérite* (hyderosiderum). C'est à cette substance que l'on at-

* Il est probable qu'une partie des métaux terreux contenus dans le laitier, s'étant combinés avec le fer, ont fait rétrograder l'affinage et ont été cause aussi de la fragilité du produit.

Le T.

tribuait la fragilité des fers tendres; fondue avec de très-bon fer, elle le rendait cassant à froid.

Meyer et Klaproth s'aperçurent bientôt, au moyen des essais synthétiques, que la poudre blanche est un phosphate de fer, qui, traité par le charbon, se change en phosphure. Schéele confirma cette découverte, en décomposant la poudre blanche par les alkalis.

Les proportions du précipité blanc varient entre 0,1 et 0,16 pour cent; la quantité de phosphore ne peut donc s'élever au-dessus de 0,05 pour cent de la masse totale. L'acide d'ailleurs n'est point contenu dans le métal, il ne doit son existence qu'à l'opération même. M. Vauquelin fit observer depuis, avec raison, que c'est la moindre partie du phosphore qui passe à l'état d'acide phosphorique et que le reste doit se trouver dans le résidu sous forme de phosphure de fer.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LE CHARBON ET LE SOUFRE.

157. Il est difficile de déterminer les modifications que le soufre fait éprouver au fer combiné avec le carbone, et l'influence que celui-ci peut exercer sur les différentes combinaisons du fer avec le soufre. Il semblerait que la présence de ce dernier, lorsqu'il est en grande quantité dans le métal, peut détruire l'effet du carbone. On ne s'est jamais aperçu d'aucune différence dans la dureté des fontes, des aciers ou des fers fortement sulfurés. Ils ne manifestent que les propriétés appartenantes aux fers qui contiennent du soufre; la plus ou moins grande quantité de carbone ne semble influer en rien sur leur manière d'être. Il est certain cependant qu'ils doivent différer entr'eux.

Selon Schéele, il n'existe point de combinaison entre le soufre et le graphite, mais le carbone et le soufre s'unissent ensemble et donnent, dans certaines circonstances, un corps volatil qui a été découvert par Lampadius *. Ce sulfure de carbone se forme-t-il aussi dans le fer? c'est ce qu'on ne peut encore décider. Quoi qu'il en soit, ces deux substances peuvent exister à la fois dans le métal. Les fontes les plus carburées retiennent toujours un peu de soufre, lorsqu'elles proviennent de minérais pyriteux; mais il faudrait savoir quel est le mode de cette combinaison. Quand il y a si peu de soufre que les effets caractéristiques du carbone ne sont point annulés, on pourrait croire avec assez de vraisemblance, que le fer carburé tient le sulfure de fer en dissolution.

158. Le soufre et le carbone, selon les expériences qui ont eu lieu jusqu'à présent, ne se combinent entr'eux qu'à l'état libre et à une température élevée. On obtient le carbone sulfuré en chauffant le charbon avec le soufre ou le persulfure de fer; la pyrite magnétique ne pourrait servir à cet usage.

De nouveaux essais décideront si le protosulfure de fer, indécomposable à la plus forte chaleur, subit quelque modification par la présence du carbone. Le métallurgiste est vivement intéressé à connaître les actions réciproques que ces substances peuvent exercer l'une sur l'autre à une température élevée. Le protosulfure exposé des heures entières avec le charbon, à la plus forte chaleur blanche, n'éprouve point de changemens essentiels, d'après mes expériences; il absorbe

---

* C'est M. Clément et M. Desormes, qui ont fait la découverte de cette substance.

Le T.

seulement une petite dose de carbone et devient plus cassant.

159. Lorsqu'on ajoute au fer combiné avec le carbone, une légère dose de soufre, de manière que ses propriétés caractéristiques n'en soient point altérées, il en acquiert une plus grande fusibilité, qui se manifeste dans l'acier et le fer ductile, en ce que l'un et l'autre passent plus vite au blanc soudant, que si on les chauffait dans leur état de pureté; ils deviennent très-tendres et presque fusibles à ce degré de température, ne supportent plus les coups de marteau et se refroidissent avec une extrême facilité. C'est cet état de mollesse joint à leur passage rapide de la chaleur blanche à la chaleur rouge, qui empêche la liaison des parties et rend le fer rouverin. Ce défaut, lorsqu'il n'est pas très-prononcé, ne produit que des criques sur les arêtes des barres; mais quand le fer en est fortement entaché, il perd toute espèce de soudabilité et tombe en pièces sous le marteau; quand il le possède au plus haut point, il devient à la fois brisant à chaud et cassant à froid.

L'influence du sulfure de fer sur la fonte est encore plus frappante. La fonte sulfurée est très-vive et se refroidit subitement; au moindre abaissement de température, elle s'épaissit et prend une couleur rouge. L'effet principal du soufre est de favoriser la fusion du carbone dans toute la masse du fer, de produire par conséquent de la fonte blanche et de retarder la formation du graphite; on sait que celui-ci ne peut se former qu'à une haute température, et la fusibilité que le soufre communique au minérai empêche la masse entière de s'élever au degré de chaleur nécessaire, sans compter que l'affinité du sulfure pour le fer carburé

s'oppose à un changement dans le mode de combinaison. Voilà ce qui explique les difficultés qu'on éprouve, en traitant des minérais pyriteux pour en obtenir de la fonte grise : il paraît, au reste, que lorsqu'elles sont vaincues, la fonte grise abandonne une partie du soufre retenu dans la fonte blanche.

Il s'ensuit que le soufre peut se combiner avec la fonte blanche, en plus forte dose qu'avec la fonte grise. L'expérience le confirme aussi d'une autre manière, car la fonte grise dans laquelle ou jette un peu de soufre, devient entièrement blanche, *quoique refroidie lentement*, et conserve du reste le caractère de fer cru. La présence d'une certaine quantité de sulfure dans la fonte, exige donc que le graphite se change en sous-carbure de fer.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LE CHARBON ET LE PHOSPHORE.

160. Le voile étendu sur les composés de fer, de carbone et de soufre, couvre aussi la combinaison du fer avec le carbone et le phosphore. On ne connaît encore aucun composé de ces deux derniers corps ; l'expérience a démenti l'opinion de plusieurs chimistes qui avaient annoncé une semblable substance. Le phosphore se comporte à l'égard du fer carburé comme le soufre ; une forte dose du premier peut anéantir l'effet du carbone, comme une forte dose de soufre : l'influence du carbone sur le phosphure de fer, nous est également inconnue.

161. Si la quantité de phosphore est assez faible pour ne point altérer les propriétés caractéristiques que le fer reçoit du carbone, son effet se borne à aug-

menter la fusibilité du métal. Le fer contenant du phosphore passe plus vîte au blanc soudant, conserve très-long-temps ses divers degrés de chaleur et possède une parfaite soudabilité. Ces sortes de fers sont faciles à travailler; mais, d'après l'expression des ouvriers, ils ne peuvent soutenir le feu, parce qu'ils deviennent extrêmement mous : refroidis, ils sont durs, aigres et cassans; on les appelle *fers cassans à froid* ou *fers tendres.*

La fonte contenant du phosphore, devient non-seulement plus fusible, mais elle conserve aussi très-long-temps sa liquidité, plus long-temps même que celle qui provient des meilleurs minérais; elle est pour cette raison éminemment propre à la confection des objets moulés.

Le phosphore s'oppose aussi à la formation du graphite, quoiqu'à un degré moins fort que le soufre.

DE L'ACTION DES ACIDES SUR LE FER.

162. Nous avons fait observer déjà (130) que le fer peut décomposer l'eau, à une température ordinaire; la présence des acides favorise cette opération. La plupart d'entre eux ne peuvent même se combiner avec les métaux qu'en vertu de la décomposition de l'eau. Leur effet serait nul, s'ils ne contenaient pas une certaine quantité de ce liquide, ou si leurs radicaux n'étaient pas susceptibles de deux degrés d'oxigénation. Le fer ne pouvant se dissoudre qu'à l'état d'oxide, doit enlever d'abord l'oxigène à l'eau, ou aux acides : une semblable dissolution n'est donc autre chose qu'une opération galvanique; l'acide, l'eau et le métal forment une chaîne, composée de deux fluides et d'un corps solide conducteur de l'électricité.

163. Le charbon, le soufre et le phosphore ne sont attaquables que par des acides dont les radicaux présentent plusieurs degrés d'oxigénation. Il est probable que ces corps combustibles et avides d'oxigène, ne peuvent décomposer l'eau, parce qu'ils sont de très-mauvais conducteurs de l'électricité, et qu'ils ne peuvent former une chaîne galvanique. Mais combinés avec le fer, ils prennent à cette opération chimique une part très-active; ils absorbent et l'oxigène et l'hydrogène, restent oxidés dans la dissolution, ou se dégagent à l'état de gaz hydrogène carburé, sulfuré ou phosphuré. On ne sait pas encore dans quelle proportion se fait le partage; il est probablement modifié par le degré de température et la concentration de l'acide.

164. La nature des gaz qui se forment par la dissolution du fer, dépend autant de la nature des acides que de leur concentration. Il s'en dégage en général quatre espèces, de l'hydrogène, de l'acide sulfureux, de l'acide nitreux et du deutoxide d'azote. Le premier s'obtient au moyen de tous les acides, excepté l'acide sulfurique concentré et l'acide nitrique; celui-ci donne, suivant qu'il est plus ou moins concentré, ou de l'acide nitreux ou du deutoxide d'azote; l'autre donne toujours de l'acide sulfureux. Tous les deux se décomposent en partie, l'un à un certain degré de chaleur, l'autre à une basse température; et ils cèdent ensuite au métal l'oxigène provenant de leur décomposition, tandis que l'autre composant s'échappe à l'état de gaz acide sulfureux, nitreux ou deutoxide d'azote, constituant toujours avec l'oxigène une combinaison dont les proportions sont définies: le carbone, le soufre et le phosphore, contenus dans le fer, restent dans la dissolution sous forme de carbone oxidé, d'acide sulfurique et d'acide phosphorique.

Si l'on emploie d'autres acides, et même de l'acide sulfurique non concentré, il y aura décomposition de l'eau et de l'hydrogène mis à nu; le soufre, le carbone et le phosphore obéiront alors à leur double affinité pour les élémens de l'eau : une partie de ces substances restera oxidée dans la dissolution, et l'autre, combinée avec l'hydrogène, se dégagera. C'est pour cette raison que, d'après M. Berzélius, l'acide sulfurique non concentré et l'acide hydrochlorique, ne constituent pas un réactif aussi puissant que l'acide nitrique, quand il s'agit de faire découvrir le charbon, le soufre et le phosphore; ils donnent quelquefois un résidu d'une couleur blanche, lorsque celui qu'on obtient avec l'acide nitrique est brun ou noir. Si donc on veut connaître avec une certaine précision, ce que le fer contient de ces substances, on ne peut employer que cet acide, et c'est alors dans la dissolution et le résidu qu'il faut les chercher. En général, lorsqu'il y a de l'hydrogène dégagé, le soufre disparaît entièrement avec le gaz, et le phosphore en grande partie.

Le protosulfure de fer dissous dans l'acide hydrochlorique, ne laisse pas une trace de soufre : ce dernier s'échappe en totalité à l'état de gaz hydrogène sulfuré. On ne peut même découvrir le soufre à l'aide de l'eau régale, à moins de recueillir les gaz pour les analyser ensuite. Ce qui a été dit du soufre s'applique aussi, jusqu'à un certain point, au carbone. Qu'on juge, d'après cela, de l'exactitude des analyses! car on n'y tient jamais compte de la quantité de carbone qui s'échappe sous forme de gaz hydrogène carburé.

165. L'hydrogène, que les acides étendus d'eau dégagent pendant la dissolution du fer, fut considéré

d'abord par Bergmann et Rinman, et plus tard, par les chimistes Monge, Berthollet et Vandermonde, comme un moyen qu'on pouvait employer pour déterminer la quantité de fer métallique contenue dans les fontes, les aciers et les fers forgés.

Bergmann fut le premier qui s'aperçut que, toutes choses égales d'ailleurs, le fer ductile donnait plus d'hydrogène que l'acier et celui-ci plus que la fonte; il en conclut que les quantités de fer pur contenues dans ces trois métaux, devaient suivre les mêmes proportions. Les termes moyens de ses résultats pour 100 parties de fer, ou d'acier ou de fonte, sont respectivement 50,48,42 pouces cubes de gaz hydrogène.

Les chimistes français adoptèrent pour nombres moyens 76, 74, 67. Si 76 mesures sont relatives à 100 parties de fer pur, 74 et 67 correspondent respectivement à 97,32, et 88,1 de fer contenu dans l'acier et la fonte. Mais, comme ces nombres n'étaient point d'accord avec les quantités de fer données par l'analyse dont les résultats sont plus forts, ces chimistes supposèrent que la fonte devait contenir déjà une certaine quantité d'oxigène, et il n'existe même aucune autre raison qui puisse justifier leur assertion. Cependant le point essentiel ne put leur échapper; ils attribuèrent une partie du déficit à la condensation du gaz hydrogène par le carbone, mais malheureusement ils attachèrent trop peu d'importance à cette idée qui, sans cela, les aurait conduits à des résultats bien différens.

166. Dans le cours de leurs expériences, Bergmann et Rinman s'aperçurent aussi que la fonte blanche donnait moins de gaz que la fonte grise, lors même qu'elle provenait d'une fonte grise blanchie par une

seconde fusion, quoique par cette opération une partie du carbone eût dû se consumer.

Il est peu naturel de vouloir rendre raison de ce fait par la présence de l'oxigène dans le fer cru. D'ailleurs, pourquoi la fonte grise ne fournit-elle guères moins d'oxigène et en donne-t-elle souvent autant que le fer ductile ? et comment se fait-il que l'hydrogène obtenu au moyen de la fonte blanche, contienne plus de carbone que celui qui se dégage d'une dissolution de fonte grise ? Ces difficultés inexplicables dans le système actuel disparaîtront, lorsqu'on aura une idée plus juste de la manière dont le carbone est combiné avec le métal dans les deux espèces de fer cru.

La fonte grise composée de fer et de graphite, doit donner un plus grand nombre de mesures d'hydrogène que la fonte blanche, parce que celle-ci étant une combinaison de fer et de carbone, fournit par la dissolution une plus grande quantité de carbone libre *, qui, dissous dans l'hydrogène, affaiblit la force expansive de ce gaz et le resserre dans un moindre volume : le phosphore et le soufre produisent le même effet.

Il devient donc difficile de calculer les quantités de fer métallique contenues dans les dissolutions, à l'aide du gaz qui s'en échappe. L'emploi de l'acide sulfurique concentré et de l'acide nitrique présenterait à peu près la même incertitude dans les résultats, car le temps nécessaire pour achever la dissolution varie selon les

---

* Si l'opération se fait à la température ordinaire, la fonte grise doit fournir très-peu de carbone à l'état de gaz, puisque le graphite est alors indécomposable par les acides.

Le T.

différentes espèces de fer, et ce temps influe sur la nature des gaz qui se développent; d'un autre côté, il est presqu'impossible d'employer exactement le même degré de chaleur, et la détermination précise du volume de ces gaz, si disposés à former de nouvelles combinaisons, présente aussi beaucoup de difficultés.

167. Les obstacles se multiplient encore quand le fer contient, outre le carbone, du soufre et du phosphore, qui, se combinant avec l'hydrogène, en diminuent le volume. Ces trois corps réunis en fortes doses dans le métal, donnent par la dissolution une huile essentielle composée probablement de carbone, d'hydrogène et de soufre ou de phosphore. Son odeur est forte et désagréable, elle se volatilise en grande partie : mais le fer le plus pur dissous dans les acides, répand aussi une certaine odeur, dont la cause est encore inconnue.

168. La dissolution dans les acides est d'autant plus lente que le fer contient plus de charbon : pour l'effectuer entièrement il faut élever la température. Il s'ensuit que la fonte blanche doit se dissoudre avec plus de lenteur que la fonte grise et le fer ductile : quelquefois elle est tellement couverte de charbon oxidé, qu'il faut l'agiter fréquemment et la maintenir long-temps à la chaleur de l'ébullition. Le soufre et le phosphore semblent au contraire favoriser la dissolution; car le sulfure se dissout plus vîte que le fer métallique.

169. On distingue d'une manière certaine l'acier du fer pur à l'aide de l'acide nitrique, qui fait une tache noire sur le premier et ne laisse aucune trace sur le deuxième. La raison de ce fait remarqué d'abord par Rinman, est évidente. La fonte blanche doit noircir par la même cause.

170. Il est des acides qui attaquent le fer à l'état métallique avec plus d'énergie que ses oxides; d'autres manifestent plus d'action sur ces derniers; d'autres enfin n'agissant immédiatement ni sur le fer ni sur les oxides, ne peuvent se combiner avec ceux-ci que médiatement et par une double décomposition. Bergman les ránge, selon leur degré d'affinité pour le fer, dans un ordre décroissant, comme il suit :

Acide	oxalique.	Acide	fluorique.
id.	tartarique.	*id.*	citrique.
id.	sulfurique.	*id.*	formique.
id.	hydro-clorique.	*id.*	acétique.
id.	nitrique.	*id.*	boracique.
id.	arsénique.	*id.*	carbonique.
id.	phosphorique.		

Il est probable que les acides suivent le même ordre pour tous les métaux, et qu'il n'y a d'exceptions que dans le cas où ils donnent des sels insolubles. Mais il faudrait chercher aussi de semblables tableaux pour les oxides qui se correspondent.

171. Le fer, d'après ses deux degrés d'oxidation, forme avec chaque acide, deux sels différens, qui se combinent quelquefois entre eux en plusieurs proportions. Le sel du protoxide n'est pas pour l'ordinaire très-permanent; il se change avec une grande facilité en sel de peroxide. Mais celui-ci, qui exige une plus grande quantité d'acide pour sa neutralisation, donne alors un précipité insoluble, regardé long-temps comme un oxide particulier. Ce précipité ne constitue, d'après les expériences de M. Berzélius, qu'un sous-sel de peroxide, ou un sel avec excès de base et dont la composition est constante, de manière que la dissolution

contient toujours des sels neutres, jusqu'à ce que toute la masse soit convertie en sel de peroxide.

Le protoxide de fer n'a point de sous-sel. Ceux de l'oxide sont tous insolubles, retiennent fortement leur acide, le cèdent à peine aux alkalis et se conduisent presque comme les oxides. Les sels du peroxide sont décomposés en quelque sorte, non-seulement par le fer lui-même, mais aussi par certains métaux que celui-là précipite souvent de leurs dissolutions : le régule est alors oxidé aux dépens du peroxide, qui descend au minimum d'oxidation et se trouve chassé en partie par le nouveau protoxide. On ne peut donc obtenir ce précipité qu'en employant le fer ou un métal dont les oxides peuvent déplacer le protoxide de fer.

172. Le fer n'est jamais précipité à l'état métallique. La forte attraction de ce corps pour l'oxigène, explique aussi son affinité pour les acides. Il paraît que le zinc le surpasse encore sous ce rapport; cependant il ne peut agir sur les dissolutions du protoxide de fer : si elles contiennent un peu de peroxide, il se formera un précipité de protoxide provenant du partage de l'oxigène du peroxide. Le fer et le zinc semblent pouvoir se disputer le premier rang dans la série des affinités des métaux pour les acides : il est probable que la série des oxides est bien différente de celle-ci, qui est entièrement réglée sur le degré d'affinité des métaux pour l'oxigène.

173. La double oxidation du fer présente de nombreux obstacles dans les analyses et devient une source d'erreurs. Avant de précipiter l'oxide, il faut le porter d'abord au maximum d'oxidation; l'emploi des alkalis fait naître de nouvelles difficultés, parce qu'ils précipitent le fer à l'état d'hydrate.

174. *L'acide carbonique* n'exerce point d'action ni sur le fer ni sur ses oxides, à moins que ce gaz ne soit combiné avec l'eau. Le protocarbonate de fer est soluble dans une grande quantité de ce liquide : la présence de l'acide carbonique libre le maintient long-temps en dissolution à la température ordinaire ; sa permanence et sa solubilité sont augmentées aussi par les carbonates alkalins, probablement à cause de la tendance qui s'établit alors vers une formation de sel triple ou quadruple, ce qui empêche le protoxide de passer à l'état de peroxide. Peu à peu il se dépose un précipité jaune brunâtre composé d'hydrate et de sous-carbonate de peroxide : ce précipité paraît d'abord à la surface du liquide, sous forme d'une légère pellicule, qui, colorée de toutes les nuances de l'arc-en-ciel, s'épaissit de plus en plus.

Le protocarbonate pur est entièrement blanc, mais il passe au jaune, quelque rapide qu'en soit la dessication. On ne peut donc l'obtenir à un certain degré de pureté par des moyens artificiels, mais la nature nous l'offre composé de 38,92 d'acide carbonique et de 61,08 de protoxide. On ne connaît point de combinaison solide du protocarbonate avec l'eau.

Une dissolution saturée de peroxide, traitée par un carbonate alkalin, donne un précipité brun qui n'est pas un carbonate neutre ; mais qui constitue un percarbonate de fer avec excès de base : au lieu de contenir 46,9 d'acide carbonique et 53,1 d'oxide, il est composé de 17,6 d'acide et de 82,4 d'oxide, de sorte que l'acide contient la moitié de l'oxigène de l'oxide. Elevé à la température de 100°, il laisse dégager l'eau de cristallisation ; mais il absorbe ensuite l'humidité de l'air. On doit donc le peser immédiatement après la

dessication. Ce précipité se présente, au commencement de l'opération, sous la forme d'une matière boursouflée, d'une couleur brune rougeâtre qui devient plus foncée, à mesure que l'eau s'échappe; sa densité s'accroît ensuite, et bientôt il finit par se changer en une masse brune, sombre, compacte, brillante, aigre et d'une cassure conchoïde.

Mais existe-t-il un percarbonate de fer neutre? c'est ce qu'on ne sait pas encore. Les combinaisons de ce genre qu'on rencontre le plus fréquemment dans la nature, sont formées de sous-carbonate et de protocarbonate ou d'hydrate de fer.

Si les dissolutions de fer et de carbonate alkalin sont toutes deux très-concentrées, le précipité se redissout à l'instant; la liqueur, qui devient claire et d'une couleur brune jaunâtre, est, d'après M. Dobereiner, susceptible de cristalliser. Ce sel liquide connu depuis long-temps, s'appelle vulgairement *Teinture de Sthal.* Au lieu de cristaux réguliers, on obtient aussi des formes végétales désignées sous le nom d'*arbres de mars* (arborescentia martis). La liqueur ou le sel cristallisé est un composé quadruple d'oxide de fer, d'alkali, d'acide carbonique et d'un autre acide. Si la dissolution est convenablement étendue d'eau, l'oxide se précipite dans toute sa pureté. Il est assez remarquable que l'eau donne un moyen d'opérer cette décomposition.

175. *L'acide sulfurique* fortement concentré n'attaque pas le fer à la température ordinaire : lorsqu'il est faiblement concentré, son action sur le métal est proportionnelle à la quantité d'eau contenue dans l'acide; mais à 100, le fer, en s'oxidant, commence déjà à le décomposer en oxigène et en acide sulfureux. Monnet prétend que l'acide sulfurique concentré,

étant chauffé avec le fer dans un vase distillatoire, peut donner du soufre sublimé. Les deux oxides de fer ne se combinent avec l'acide sulfurique, qu'à la chaleur de 100°, et le protoxide se dissout plus vîte que l'autre.

A cette température, l'acide sulfurique étendu d'eau, agit sur le fer avec beaucoup d'énergie. Son action sur le protoxide est moins forte, et le peroxide ne peut se dissoudre que par suite d'une longue ébullition, qui porte l'acide à un plus fort degré de concentration.

Le protosulfate et le persulfate de fer, dégagés d'eau, sont parfaitement blancs. Lorsqu'on ajoute à une dissolution de ces sels dans l'eau, une certaine quantité d'acide sulfurique, le protosulfate se précipite en grains et le persulfate, en aiguilles. L'un et l'autre deviennent alors presqu'insolubles dans l'eau, particulièrement le protosulfate qui, dans les circonstances ordinaires, possède une très-grande solubilité. Cet effet singulier a fait regarder le persulfate blanc comme un sel particulier; mais en l'examinant de plus près, on verra que c'est un persulfate anhydre et neutre *.

176. Le protosulfate neutre ou vitriol vert, dans son état de cristallisation, est composé de 25,7 de protoxide; de 28,9 d'acide et de 45,4 d'eau. La quantité de fer contenue dans le protoxide s'estime à 19,9; et celle du soufre dans l'acide sulfurique, à 11,56; il s'ensuit que le rapport du fer au soufre dans le proto-

---

* C'est une règle générale, que les sels qui ont perdu leur eau combinée, ne peuvent se dissoudre qu'à la longue et avec beaucoup de peine. — Berzélius, sur la théorie des proportions chimiques, page 81 et suivantes.

Le T.

sulfate, est le même que dans le sulfure au minimum, dont la composition est 63 de fer et 37 de soufre (147). C'est pour cette raison que les pyrites, après avoir servi à la fabrication du soufre, sont employées à celle du vitriol.

La couleur du protosulfate de fer est le vert foncé bleuâtre; exposé à l'air, il se couvre bientôt d'une poussière tirant sur le jaune; c'est un persulfate avec excès de base. Ce changement s'opère encore avec plus de rapidité, si le sel se trouve en dissolution et sur-tout si l'on y verse une certaine quantité d'acide nitrique. Une trop forte dose d'acide retarde la précipitation du sous-sel; la liqueur contient du protosulfate et du persulfate neutres. Ce sel triple cristallise en rhombes couleur d'émeraude; la couleur verte résulte de celle des deux sulfates dont il est composé. La présence du fer à l'état métallique s'oppose à la formation de ce sel, elle augmente la quantité de protosulfate et donne lieu au précipité de sous-persulfate.

Le vitriol, exposé à la chaleur, subit la fusion aqueuse, abandonne son eau de cristallisation, laisse dégager du gaz acide sulfureux, et donne enfin pour résidu de l'oxide rouge pur, c'est le rouge de *colcotar*. On voit d'après cela, que le vitriol à l'état naturel, ne peut servir à la fabrication de l'huile de vitriol, qu'on est obligé de le calciner d'abord, pour le convertir en persulfate et pour empêcher que ce changement ne se fasse aux dépens de l'acide.

177. Le persulfate à l'état liquide, est connu sous le nom d'*eau mère vitriolique :* le sel du protoxide se change peu à peu en cette substance et donne alors un précipité de sous-sulfate. A l'état solide, le persulfate est rouge jaunâtre, déliquescent, se dissout facilement

dans l'alkool, contient, étant parfaitement sec, 60,44 parties d'acide et de 39,56 parties d'oxide. Il se décompose au feu, laisse dégager alors de l'acide sulfurique, s'il retient encore de l'eau, ce qui arrive presque toujours; et dans le cas contraire, l'acide se décompose en oxigène et en gaz acide sulfureux.

Le sous-sulfate a une couleur jaune; chauffé, il passe au rouge par le dégagement de l'eau. Sous forme d'hydrate, il est composé de 21,7 d'eau, de 62,4 d'oxide et de 15,9 d'acide. Lorsqu'il a perdu son eau, il contient 79,8 d'oxide et de 20,2 d'acide; ce dernier se dissipe, à une haute température, décomposé en oxigène et en gaz acide sulfureux.

178. *L'acide sulfureux*, d'après Berzélius, attaque le fer en laissant dégager une grande quantité de chaleur, sans qu'il y ait décomposition de l'eau : c'est aux dépens de l'acide que se fait l'oxidation du métal, de sorte qu'on n'obtient pas un sulfite pur, mais un composé de sulfite et de soufre. Il paraîtrait que traité par l'acide sulfurique ou par l'acide hydrochlorique, ce sulfite sulfuré laisse précipiter du soufre et dégager de l'acide sulfureux avec effervescence; qu'exposé à l'air, il donne un précipité rougeâtre et des cristaux de protosulfite pur, qui, dissous dans l'eau et soumis encore une fois à l'action de l'air, se changent, d'après Fourcroy, en protosulfate; il paraîtrait en outre que le protosulfite est insoluble dans l'alkool, tandis que le protosulfite sulfuré est à la fois soluble dans ce liquide et permanent à l'air. Ces propriétés extraordinaires méritent d'être confirmées par de nouvelles expériences.

M. Vauquelin a fait usage de l'acide sulfureux pour déterminer la quantité de carbone contenue dans l'a-

cier, parce que cet acide ne donne pas lieu à un dégagement d'hydrogène, ni par conséquent à une perte de la substance qui était l'objet de ses investigations.

179. *L'acide nitrique*, s'il est concentré, attaque le fer assez faiblement, mais à une concentration moyenne, il agit avec une grande énergie sur ce métal et laisse échapper des torrens de protoxide d'azote et de gaz nitreux. Il développe d'autant plus de protoxide d'azote et d'autant moins de gaz nitreux, qu'il est plus étendu d'eau. Si l'on empêche le dégagement du calorique, on peut même obtenir, d'après Bucholz et Davy, une combinaison d'acide nitrique et de protoxide de fer: la dissolution colorée d'abord en brun foncé olivâtre par le gaz nitreux, blanchit à l'air, parce que ce gaz se change en acide nitrique.

Lorsqu'on emploie dans cette opération un certain degré de chaleur ou de l'acide nitrique concentré, on porte le fer au summum d'oxidation, et il se dépose une poussière rouge brunâtre, qui est un sous-pernitrate de fer: la dissolution dont la couleur est brune, contient du pernitrate, n'est point susceptible de cristaliser, laisse précipiter du sous-sel par l'évaporation et devient quelquefois gélatineuse. Pour chasser l'acide entièrement, il suffit d'élever la température; on obtient l'oxide rouge pour résidu.

Le protoxide de fer digéré pendant plusieurs mois dans l'acide nitrique concentré, donne à la fin, d'après Vauquelin, un pernitrate en petits cristaux incolores, sous forme de prismes quadrangulaires. Ce sel a une saveur très-forte, est déliquescent et soluble dans l'eau à laquelle il donne une couleur rouge.

Pour dissoudre le protoxide dans l'acide nitrique, il faut le laisser long-temps au degré de l'ébullition,

dans 32 parties de cet acide. Le sous-nitrate hydraté en poudre rouge brunâtre, présente à ce sujet de plus grandes difficultés encore; il est presqu'inattaquable, chose d'autant plus singulière, qu'à un certain degré de chaleur l'oxide se dissout avec beaucoup de facilité dans l'acide nitrique concentré.

M. Bucholz fait observer que cette solubilité diminue avec la température et la concentration de l'acide; il fait remarquer en outre que l'oxide calciné se dissout plus difficilement. Cet auteur propose, par cette raison, de se servir de l'acide nitrique étendu d'eau pour séparer des oxides de fer, les substances solubles dans cet acide.

Pour obtenir une dissolution de protonitrate dans l'état de plus grande pureté, on précipite avec du fer pur l'argent ou le plomb de leurs nitrates, et l'on sépare ensuite les métaux par la filtration. La dissolution est d'un vert clair; mais à l'air elle se change facilement en pernitrate et dépose alors du sous-pernitrate hydraté de fer.

180. *L'acide hydrochlorique* dissout le fer avec une grande activité, en laissant dégager du gaz hydrogène; il se combine facilement avec les deux oxides, lorsqu'il se trouve en assez forte dose, et que la chaleur est suffisamment élevée: les produits de ces combinaisons constituent des sels neutres. La dissolution la plus ordinaire est un composé triple d'acide, de protoxide et de peroxide.

On obtient l'hydrochlorate de protoxide immédiatement, en faisant dissoudre le fer à la température ordinaire, hors du contact de l'air : la liqueur est verte et claire, cristallise après le refroidissement par le simple effet de l'évaporation spontanée et fournit des

cristaux en tables, de couleur vert d'émeraude, solubles dans l'eau et l'alkool; en contact avec l'acide nitreux, cette liqueur se colore en brun foncé et devient plus astringente; chauffée, elle dégage la majeure partie du gaz, ainsi qu'un peu d'ammoniaque, et donne un précipité rouge, qui est un sous-sel de peroxide.

Pour obtenir, selon Davy, l'hydrochlorate de protoxide de fer, sans mélange de perhydrochlorate, on dissout le protosulfure dans l'acide hydrochlorique; il en résulte un dégagement de gaz hydrogène sulfuré, qui empêche la liqueur d'absorber l'oxigène de l'atmosphère; entretenue en ébullition avec l'acide nitrique, ou exposée à l'air, la dissolution passe à l'état de perhydrochlorate et dépose alors un précipité brun de sous-perhydrochlorate.

L'hydrochlorate de peroxide de fer a une couleur brune foncée, n'est pas susceptible de cristalliser, et donne, étant évaporé jusqu'à siccité, une matière déliquesçante rouge brunâtre, soluble dans l'alkool, ne pouvant absorber le gaz nitreux, agissant sur les substances animales et végétales, comme le chlore, et se changeant par l'hydrogène sulfuré, en hydrochlorate de protoxide de fer. Ce sel est extrêmement soluble dans l'eau; mais étendu dans une grande masse de ce liquide, il se décompose et paraît donner un précipité de sous-sel : à une chaleur modérée, il dégage du chlore; soumis à l'action d'une plus forte chaleur, il se sublime en cristaux, et forme alors, d'après d'Ayen, une substance non saline, transparente, attirable à l'aimant, et dont la couleur et l'éclat ressemblent à ceux de l'acier.

Il est très-essentiel de répéter ces expériences, car, d'après Davy, la combinaison du fer avec le chlore

effectuée à la chaleur rouge, donne une substance brune, claire, ou bigarrée comme le fer spéculaire; son brillant approche de celui des métaux; elle se volatilise à une chaleur très-modérée, remplit le vase de petits cristaux d'un grand éclat et dont la forme n'est pas encore déterminée. La présence de l'eau reproduit à l'instant l'hydrochlorate; l'hydrogène se portant sur le chlore forme l'acide hydrochlorique, et l'oxigène s'unit au métal.

A la chaleur rouge, le chlore n'exerce point d'action sur le peroxide; mais il décompose le protoxide, en convertit une partie en peroxide, et forme avec celle qui est réduite un composé qui se sublime. Continuant ses recherches, Davy crut devoir adopter deux espèces de combinaison du fer avec le chlore; l'une composée de 64,57 de fer et de 53,43 de chlore, l'autre de 35,1 de fer et de 64,9 de chlore. Le protoxide de chlore, d'après Davy, agit sur le fer métallique comme le chlore lui-même; l'oxigène se dégage avec explosion, et le métal brûle dans le chlore en répandant une lumière éclatante. Le produit de cette combustion est du *chlorure* de fer.

181. *L'eau régale* est le dissolvant ordinaire dont on fait usage pour analyser les substances ferrugineuses, parce qu'elle agit aussi bien sur le fer que sur les oxides de ce métal : il se dégage de l'hydrogène, du protoxide d'azote et du gaz nitreux. Après avoir chassé l'acide nitrique par l'évaporation, on obtient une liqueur qui contient le fer à l'état d'hydrochlorate *.

* M. Herschel propose un moyen très-simple de séparer le fer des autres métaux. Il le porte d'abord au maximum d'oxidation en tenant pendant quelque temps la dissolution métallique en ébullition avec l'acide nitrique, et lorsqu'elle est encore bouillante, il

182. *L'acide arsenique* n'exerce qu'une action faible sur le fer métallique et ses oxides : les combinaisons qu'ils forment sont presqu'inconnues ; c'est aux dépens de l'acide et non en décomposant l'eau, que le métal s'oxide ; on obtient alors de l'arsenic blanc et même de l'arsenic métallique, si la température est assez élevée.

Le meilleur moyen de se procurer les arseniates de fer consiste à décomposer les sulfates de ce métal avec les arseniates alkalins. Les deux arseniates de fer sont insolubles, d'après Chenevix. Le protoarseniate se précipite sous forme de poudre verte contenant 38 d'acide, 43 de protoxide et 19 d'eau. Le perarseniate, qui est brun rougeâtre, se compose de 42,4 d'acide, 37,2 de peroxide et 20,4 d'eau. Le premier de ces deux sels donne par la sublimation de l'arsenic blanc ; le résidu est probablement du perarseniate neutre. D'après les expériences de Proust, le deuxième devient vert olive par l'action de la chaleur, mais du reste il ne subit point de changement.

L'un et l'autre arseniate se rencontrent dans la nature : le sel du protoxide est vert et de forme cubique, l'autre a une couleur brune. Il est probable que celui-ci doit son existence au premier. L'arsenic blanc, d'après Proust, forme avec le peroxide de fer, une poudre jaune ocreuse, qui, même à une température modérée, abandonne l'acide et l'eau avec effervescence.

183. *L'acide phosphorique* liquide attaque le fer avec une grande énergie ; son action sur les oxides de ce métal n'a pas encore été assez examinée. Le phosphate

---

la neutralise avec du carbonate d'ammoniaque ; tout le fer se précipite et les autres métaux restent en dissolution. Voyez les Annales de Chimie et de Physique 1822, Tome 20, page 304.
Le T.

de fer qui se combine facilement avec un excès d'acide, forme alors des sels susceptibles de se cristalliser, et solubles dans l'eau : il se dissout aussi dans tous les autres acides ; mais il en est chassé par les alkalis étendus d'eau. L'emploi d'une grande quantité d'eau est indispensable dans cette opération ; sans cela, on ne pourrait obtenir de précipité ; parce qu'il se formerait, comme dans les combinaisons du fer avec l'acide carbonique, des sels quadruples qui resteraient dans la dissolution.

Le phosphate de protoxide de fer obtenu par un échange de base, et composé, d'après le calcul, de 47,75 d'acide et de 54,25 d'oxide, est sous forme d'une poudre bleue, insoluble dans l'eau, inaltérable à l'air et soluble dans tous les acides ; Klaproth l'a trouvé dans le minéral appelé *Bleu de Prusse naturel:* (il y était probablement à l'état de combinaison avec le perphosphate). Celui-ci, dont la composition, d'après le calcul, est 53,4 d'acide et 46,6 d'oxide, se présente sous la forme d'une poudre blanche presqu'insoluble dans l'eau, mais très-soluble dans la plupart des acides. Il faut donc, pour l'obtenir, neutraliser parfaitement la dissolution qui le contient : sursaturée d'alkali, elle donne un précipité brun rougeâtre, à peine soluble dans les acides ; c'est un *sous-phosphate de fer* qui jouit de la propriété singulière de se dissoudre dans le blanc d'œuf en présentant une couleur rouge.

184. L'action des *acides*, *fluorique et boracique* sur le fer et ses oxides, n'est pas encore connue d'une manière assez précise. Le protoborate est peu soluble, blanc, tirant sur le vert, et inaltérable à l'air ; dissous dans l'eau, il donne un précipité de couleur orange : c'est un mélange formé par le sous-sel et le

borate neutre. Ce dernier peut être considéré comme insoluble dans l'eau, mais il se dissout dans les acides, avec une grande facilité. On a fait peu de recherches sur la nature des combinaisons du fer ou de ses oxides avec les acides: *molybdique*, *tungstique*, *chromique*, *colombique*, *tantalique*, *malique*, *subérique*, *lactique*, *mucique*, *formique et mellitique*.

185. *L'acide acétique* attaque le fer avec beaucoup d'énergie et dissout facilement le peroxide non calciné; mais sa combinaison avec le protoxide est difficile et lente; on ne peut la former qu'au moyen d'une longue ébullition. Ce sel ne s'obtient même, d'après Davy, que par la dissolution du protosulfure de fer dans l'acide acétique. Il est avide d'oxigène, passe avec une grande facilité à un degré d'oxidation plus fort, et dépose alors du sous-acétate de fer. On dit qu'à l'aide d'une évaporation bien conduite, on peut le faire cristalliser en petits prismes verts: la dissolution ordinaire est un sel triple. Le peracétate se distingue par une belle couleur rouge. Si l'on fait évaporer la liqueur avec soins, on obtient quelquefois des cristaux bruns rougeâtres, très-déliquescens, mais le plus souvent une matière gélatineuse: l'un et l'autre sel abandonnent leur acide avant de parvenir au degré de la chaleur rouge.

La fabrication du peracétate employé dans la teinture, se fait immédiatement avec le fer et le vinaigre, ou par la décomposition de l'acétate de plomb, à l'aide du vitriol vert. Au lieu de vinaigre ordinaire, ou de bierre aigre, etc., etc., on peut se servir avec beaucoup d'avantage du vinaigre de bois, qui est un produit de la carbonisation.

186. *L'acide citrique* dissout plus promptement le

fer que ses oxides. Le protocitrate est soluble dans l'eau : il donne une liqueur brune et cristallise si l'évaporation est très-douce ; dans le cas opposé, la dissolution, d'après Vauquelin, noircit et se change en une substance solide, assez tenace étant chaude, et cassante après le refroidissement ; c'est peut-être un mélange de sous-citrate et de citrate neutre.

L'acide oxalique attaque le fer et ses oxides : le protoxalate est très-soluble, non permanent à l'air, et se change à la chaleur de l'ébullition en sel et en sous-sel de peroxide. Ce dernier est entièrement insoluble, et le premier ne se dissout qu'avec une extrême difficulté.

L'affinité du peroxalate de fer pour les oxalates alkalins, avec lesquels il forme des sels très-solubles, empêche de l'obtenir par la décomposition des oxalates alkalins à l'aide des sulfates ou des hydrochlorates de fer ; la précipitation est toujours incomplète ; c'est pour cette raison que l'acide oxalique ne peut servir de réactif pour séparer le fer des autres métaux. La composition du protoxalate, trouvée par le calcul, est 51,25 d'acide et 48,75 de protoxide ; celle du peroxalate est de 50 d'acide et 41 d'oxide *.

L'acide tartarique agit avec plus de force sur le fer que sur le protoxide, et ne dissout le peroxide qu'après une longue ébullition. Obtenus par des échanges

* On a trouvé en Bohême, dans un lignite friable, un oxalate naturel, en petits morceaux applatis cristallins, mais sans formes déterminables, d'une couleur jaune serin assez pure, et tout à fait semblable à celle de l'oxalate de protoxide de fer, fait dans les laboratoires. Voyez les Annales de Chimie, tome 18, page 227.

Le T.

de bases, le prototartrate est sous la forme d'une poudre blanche très-légèrement verdâtre et le pertartrate en poudre brune jaunâtre. Celui-là se change en celui-ci par une plus forte oxidation de la base, ce qui donne naissance à un sous-sel. La composition du prototartrate, est 66,9 d'acide, et 33,1 d'oxide; celle du pertartrate, 71,1 d'acide et 28,9 d'oxide.

Exposée à l'air atmosphérique, la dissolution du pertartrate dépose, d'après Bucholz, un sous-sel qui est brun foncé, couleur de quinquina, et la liqueur renferme un peracétate acidule soluble à froid dans $1+\frac{2}{5}$ de son poids d'eau, et à chaud dans $\frac{7}{19}$. Les combinaisons du fer avec le tartre sont connues sous le nom de *Tartarus martiatus* ou *Chalybeatus Globuli martiales*, *Tinctura martis tartarifata*, etc., etc.

Les acides, sébacique et *benzoïque* n'ont pas encore été combinés directement avec le fer ni avec ses oxides. Le protobenzoate obtenu par la décomposition des sels neutres est assez soluble, sa couleur qui est le vert jaunâtre clair, passe au rouge pâle; c'est aussi la couleur du perbenzoate qui est presqu'insoluble dans l'eau, et qui, d'après mes expériences, contient 24 de peroxide et 76 d'acide; l'un et l'autre sel se dissolvent facilement dans tous les acides. Il s'ensuit que les dissolutions de fer qu'on veut décomposer à l'aide des benzoates alkalins, doivent être dans un état de neutralisation parfaite et contenir le fer au maximum d'oxidation.

Nous manquons également d'expériences sur la combinaison immédiate du fer avec *l'acide succinique*. Les propriétés des succinates ressemblent beaucoup à celles des benzoates; mais le persuccinate se décompose à un plus faible degré de chaleur que le perben-

zoate ; il abandonne son acide, même à la température de l'eau bouillante. Il faut donc éviter, si l'on veut obtenir ce sel par la décomposition des succinates alkalins, de porter la chaleur jusqu'au degré de l'ébullition et de laver le précipité dans l'eau chaude.

La dissolution du protosuccinate de fer est jaune claire : exposée à l'air, elle devient plus foncée en couleur, et donne alors un précipité rouge composé en partie de sous-sel et de persuccinate neutre. Ce dernier, lorsqu'il est pur, se présente sous la forme d'une matière boursoufflée, brune rougeâtre, donne après sa dessication une poudre couleur de brique, et contient, selon mes expériences, 40 d'acide et 60 d'oxide.

187. *L'Iode*, dont la découverte est récente, semble avoir par rapport à son action sur le fer, beaucoup d'analogie avec le chlore. A l'état de vapeur, il se combine, d'après Davy, avec le fer métallique et forme alors un composé qui est soluble dans l'alkool, l'éther et l'eau. Il paraît résulter des expériences de Collin, que l'iode comme le chlore, réduit une partie du protoxide et se combine avec le fer, tandis que l'autre partie est convertie en peroxide.

S'il s'agissait d'un métal qui ne fût point susceptible de s'oxider à un degré plus élevé, l'iode se partagerait aussi en deux parties : l'une acidifiée aux dépens d'une portion de l'oxide, se combinerait avec le reste et formerait un *iodate ;* tandis que l'autre partie de cette substance composerait avec le métal réduit, un *iodure*.

L'acide hydriodique, qui a beaucoup d'analogie avec l'acide hydrochlorique et qu'on obtient, d'après M. Gay-Lussac, en chauffant dans une cornue un mélange d'iode et de phosphore humecté d'eau, se combine à

l'état gazeux avec le fer à l'état métallique, abandonne l'hydrogène et forme alors un iodure de fer ; mais si l'acide est liquide, le métal s'oxide aux dépens de l'eau et le résultat de la combinaison est un hydriodate de fer.

188. *L'hydrogène sulfuré* ou le *gaz acide hydrosulfurique*, ne précipite point les sels de protoxide de fer de leurs dissolutions ; mais il change le peroxide en protoxide et les sels de peroxide en sels de protoxide, sans produire cependant un précipité, parce que ce dernier sel possède un peu d'affinité pour le soufre. Cet acide présente donc un assez bon moyen de séparer le fer de plusieurs métaux.

On peut aussi combiner directement le gaz acide hydrosulfurique avec le protoxide : le composé est soluble dans l'eau ; et dépose en peu de temps une poudre noire qui est un protohydrosulfate sulfuré de fer, ou ce qui revient au même, un sulfure hydrogéné de protoxide de fer. Il paraît que l'oxigène de l'air atmosphérique exerce une certaine action sur l'hydrogène, soit immédiatement, soit par la tendance du protoxide à passer au maximum d'oxidation. Le soufre hydrogéné, ou le résultat de la combinaison de l'acide hydrosulfurique avec le soufre, se conduit à l'égard du protoxide, comme cet acide lui-même.

Le fer chassé de ses dissolutions, par les hydrosulfates et les sulfures hydrogènes alkalins, prend une couleur noire ; l'acide le quitte pour se combiner avec les bases alkalines ; le précipité est le protohydrosulfate sulfuré : obtenu à l'aide d'un sulfure hydrogéné, et exposé à l'air, le dépôt devient plus tôt jaune que si l'on a fait usage d'un hydrosulfate, ce qui semble annoncer une différence entre ces deux précipités.

189. Ce sont les recherches de Schéele et de Proust qui ont répandu le plus de lumière sur les combinaisons du fer avec *l'acide prussique* ou *hydrocyanique*. Cependant, on ne connaît pas encore les résultats de l'influence immédiate de ce gaz sur les oxides de fer. Une dissolution de peroxide, mise en contact avec un hydrocyanate alkalin pur, ne donne pour précipité qu'un hydrate de fer avec sa couleur ordinaire. Si le fer est dissous à l'état de protoxide, le précipité est blanc, se compose d'acide hydrocyanique et de protoxide, dont la couleur passe au bleu à mesure qu'il absorbe l'oxigène de l'air et qu'il se convertit en peroxide.

On peut obtenir un précipité soudainement bleu, si au lieu d'employer un prussiate alkalin pur, on précipite le peroxide de ses dissolutions par l'hydrocianate de potasse ferrugineux composé, d'après Proust, d'acide, de potasse et de protoxide de fer, dans des proportions constantes. Le protoxide, sans changer son degré d'oxidation, fait partie de la nouvelle combinaison et se dépose avec l'oxide. Le précipité obtenu d'une dissolution de protoxide est blanc, et celui d'une dissolution de peroxide, est d'une très-belle couleur bleue foncée; c'est le bleu de Prusse dans toute sa pureté : le protoxide est une partie composante essentielle de cette substance.

Si l'on précipite le peroxide de fer, à l'aide de l'hydrocyanate de potasse ferrugineux, on obtient, d'après mes expériences, avec 24,7 de peroxide, 100 parties de bleu de Prusse. Calciné et entièrement décomposé, on en retire, selon Proust, 54 parties d'oxide, dont 29,3 doivent provenir par conséquent de l'hydrocyanate ferrugineux ; ou ce qui revient au même, il se

compose de 24,7 d'oxide, de 26,3 de protoxide et de 49 d'acide hydrocyanique. On ne peut affirmer malgré cela, qu'il ne contienne pas une certaine quantité de potasse; plusieurs expériences semblent l'indiquer. A la température ordinaire, le bleu de Prusse résiste à l'action de tous les acides; exposé à la chaleur seule, ou traité en même temps par l'acide sulfurique et le nitrique, il est entièrement décomposé *.

190. Les sels de protoxide de fer, mis en contact avec *l'acide gallique*, ne donnent point de précipité, parce que le protogallate se dissout parfaitement bien dans l'eau, sans même y faire naître aucune couleur particulière; mais ceux du peroxide sont noircis à l'instant par cet acide, ou plutôt par le précipité de pergallate, qui reste long-temps suspendu dans le liquide, vu son extrême ténuité. Les acides le dissolvent sans le décomposer; lui enlèvent sa couleur, lorsqu'ils agissent avec une grande énergie; mais cette couleur noire qui le caractérise, lui est restituée par les alkalis.

Le *tannin* qui ne produit dans les dissolutions de

---

* Les prussiates triples ont été depuis peu de temps l'objet de recherches nombreuses et profondes. MM. Porret et Robiquet pensent que le protoxide de fer contenu dans ce sel, fait partie intégrante de l'acide. M. Berzélius regarde au contraire les prussiates furrugineux alkalins, comme des cyanures de fer et des métaux alkaligènes, excepté cependant l'hydrocianate de fer et d'ammoniaque. Malgré les belles et nombreuses expériences du célèbre chimiste suédois, la question paraît être encore indécise. Voyez les Annales de Chimie, tome 12, page 277, et tome 17, page 196; ou les Annales des Mines, tome 5, pages 163—167, et tome 7, page 85. Voyez pour le mémoire de M. Berzélius, les Annales de Chimie, tome 15, pages 144 et 225; ou les Annales des Mines, tome 6, page 115.

Le T.

protoxide aucun changement, précipite instantanément le peroxide et lui donne une couleur bleue foncée. Cette combinaison du tannin avec le fer est soluble dans l'acide sulfurique, mais elle se dépose ensuite par l'effet de la saturation. Le tannin soutire probablement un peu d'oxigène à l'oxide, puisqu'il change le persulfate de fer en protosulfate.

Les plantes astringentes composées en partie de tannin et d'acide gallique, sont un puissant réactif pour décéler la présence du fer dans toutes les dissolutions. Si la quantité de métal contenu dans ces dernières est extrêmement faible, ce n'est souvent qu'au bout de plusieurs heures qu'on aperçoit le précipité violet *.

191. Nous avons vu au paragraphe 169, qu'une goutte d'acide laisse sur l'acier une tache plus foncée que sur le fer; elle sera d'autant plus claire que le fer sera plus mou. Les acides, comme les couleurs du recuit, fournissent donc un moyen d'apprécier la dureté relative de ce métal, et de s'assurer de l'homogénéité d'une barre. Il entre quelquefois dans l'intention du fabricant de faire ressortir à la vue les endroits durs et les mous; dans ce cas, on préfère l'emploi de l'acide nitrique, par les raisons que nous avons développées au paragraphe 164. Rinman propose, lorsqu'il s'agit de faire ressortir les dessins d'un damas fabriqué avec des lames d'acier et de fer, une

---

* On se sert aussi du prussiate ferrugineux de potasse, pour reconnaître la présence des métaux dans les dissolutions : mais l'hydrocianate de fer et d'ammoniaque est, d'après M. Brandenburgh, un réactif plus puissant, particulièrement pour le cuivre et le fer. Voyez, pour la manière de le préparer, le Journal *of Science*, n°. 18, ou les Annales des Mines de 1821, tome 6, page 127.

liqueur composée de 1 1/2 livre d'eau, d'une once d'acide nitrique, d'un quart d'once de vitriol de cuivre et d'une demi-once de sel ammoniac. Ses propres expériences lui ont prouvé qu'il en résultait un sablé noir et blanc, d'une beauté parfaite *.

L'art de graver aux acides ne présente aucune difficulté, si l'enduit de cire ou de vernis, ainsi que les dessins gravés dans ces substances molles, sont bien exécutés. Les traits doivent avoir plus de profondeur pour être dorés. L'acide nitrique, qui produit un dépôt considérable de sous-sel, ne peut convenir aux graveurs; parce qu'il est difficile de faire sortir ce sel des raies fines où il reste incrusté: c'est pour cette raison que Rinman propose d'employer une dissolution composée de 10 onces d'eau, de trois quarts d'once d'alun, de trois huitièmes d'once de vitriol de cuivre, et de deux onces d'esprit de vitriol. Le cuivre déposé dans les traits du dessin, en est détaché facilement à l'aide d'une brosse; l'ouvrage devient très-net et le fer conserve tout son éclat.

Dans la fabrication des faux damas, on a pour but de faire les dessins en relief, afin d'imiter les vrais damas dont les parties dures sont toujours attaquées avec moins d'énergie que les autres (168); on dessine alors sur le fer les figures qu'on veut obtenir, avec un composé de blanc de céruse et d'huile de térébenthine; cette peinture résiste aux acides, tandis que la partie non peinte en est corrodée. La dissolution dont on fait usage dans ce cas, est plus faible que la précédente.

---

* Voyez aussi au sujet de la teinte damassée une note que nous avons ajoutée au paragraphe 1120.

Le T.

Rinman propose l'emploi d'un liquide composé de 5 onces de vinaigre, de trois quarts d'once de sel ammoniac et de trois huitièmes d'once de vitriol de cuivre; ou bien aussi d'une livre de vinaigre, d'une demi-once de vert de gris, d'une demi-once de sel ammoniac et de trois huitièmes d'once d'esprit de vitriol.

192. On emploie aussi les acides pour nettoyer la surface du fer et la dégager de la couche de protoxide qui la couvre. On traitera cet objet en parlant de la fabrication du fer blanc. Il résulterait de ce que nous avons exposé ci-dessus, que l'acide hydrochlorique remplirait ce but mieux que tous les autres, parce qu'il exerce une plus forte action sur le protoxide; mais sa cherté en restreint l'usage: l'acide sulfurique étendu d'eau le remplace assez souvent, et plus fréquemment encore l'acide acétique qu'on obtient par la fermentation du blé.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LES ALKALIS.

193. Les alkalis fixes n'exercent point d'action sur le fer et ses oxides par la voie humide. Il semble même que leur présence retarde la décomposition de l'eau.

A la chaleur rouge, la potasse et la soude sont désoxidées par le fer; mais, de quelque façon que l'on opère, avec ou sans addition de charbon, leurs radicaux ne peuvent se combiner avec le métal, probablement à cause de leur volatilité.

Des expériences directes faites par M. Hassenfratz, ont prouvé que les alkalis et leurs métaux ne peuvent avoir aucune influence nuisible sur la qualité du fer. Un canon de fusil qui avait servi à la décomposition de la potasse, dans lequel on en avait désoxidé une

assez grande quantité, s'est laissé très-bien forger; le fer n'était ni rouverin, ni cassant à froid. Si le potassium se combinait avec le fer, on devrait en trouver dans tous ceux dont les minérais sont traités au charbon de bois; cependant ils n'en ont jamais donné une trace par l'analyse : si les moyens chimiques ne peuvent le faire découvrir, c'est qu'il est en très-petite quantité dans le métal. Quoi qu'il en soit, on est certain qu'il ne lui communique aucun défaut; la vérité de ce fait doit suffire à ceux qui pratiquent l'art des forges.

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LES BASES TERREUSES.

194. Le fer n'agit point sur les *terres* par la voie humide; son action sur l'eau n'est point modifiée par les substances terreuses; aidé par la poussière de charbon, il les décompose à la chaleur de la fusion et il les réduit à l'état métallique. Cette désoxidation a-t-elle lieu par le fer ou par le charbon seul? le fer sert-il seulement à recevoir les métaux réduits et peut-il être remplacé alors par le cuivre ou l'argent? c'est ce que nous ignorons encore. D'après l'état actuel de nos connaissances, il paraîtrait que le fer sans addition de charbon, ne pourrait décomposer les hydrates terreux.

195. De toutes les terres, c'est la *silice*, dont la nature a été le plus approfondie. Berzélius est parvenu, depuis quelque temps, à combiner le *silicium* avec le fer, par la cémentation de la limaille de fer dans la silice réduite en poudre fine et mêlée à la poussière de charbon. Le fer se lie dans cette opération avec le silicium, comme dans de semblables circonstances,

il se combine avec le carbone. Le silicium, d'après les expériences de ce chimiste, n'agit pas d'une manière très-sensible sur la ténacité et la dureté du fer, qui paraissent modifiées plus particulièrement par le carbone, mais il en diminue la pesanteur spécifique.

Les fers silicifères donnent plus d'hydrogène par la décomposition de l'eau que tous les autres; ce qui est très-naturel, puisque le silicium se charge de 100 pour cent d'oxigène, tandis que le fer n'en peut absorber que 44 parties pour se changer en peroxide. Stromeyer a fait les recherches les plus précises et les plus étendues sur les combinaisons du fer avec ce métal terreux: il a varié les proportions de ce dernier depuis deux un quart jusqu'à 22 pour cent; mais les résultats de ses expériences ne sont pas encore très-positifs, parce que la dose de carbone qui se combine avec le fer, va toujours en augmentant avec celle du silicium. Malgré cela, il est probable que ce métal n'affaiblit point la résistance ni la ductilité du fer.

Les essais d'affinage que nous avons faits dans la Haute-Silésie, en ajoutant du sable quartzeux pur à la fonte, viennent à l'appui de ces conjectures. On a lieu de croire aussi que le silicium ne fait point partie du fer forgé : la fonte contient d'autant moins de ce métal terreux qu'elle est plus grise.

196. On n'a pas encore fait d'essais directs pour allier le fer aux autres métaux terreux. *L'alumine* comme la silice ne paraît être réductible qu'avec le concours du charbon ; mais *l'aluminium* constitue avec le fer une combinaison plus intime que ne le fait le silicium. La fonte grise n'en retient qu'une trace; tandis que la fonte blanche en donne quelquefois plusieurs centièmes. Ce métal terreux semble être plus nuisible aussi à la

qualité du fer que le silicium. Les essais d'affinage que nous avons faits dans la Haute-Silésie, en ajoutant de l'argile à la fonte, nous ont donné un fer plus cassant qu'à l'ordinaire.

197. Le *calcium* ressemble sous quelque rapport aux métaux alkaligènes; comme eux, il ne possède pas assez de fixité pour entrer en combinaison avec le fer. On peut présumer que ce dernier décompose la chaux, à une température convenable, sans le concours du charbon et sans se combiner avec le calcium. De nombreuses expériences que nous avons faites dans la Haute-Silésie, en ajoutant à la fonte, pendant l'affinage, une certaine quantité de carbonate de chaux pure, ont prouvé que la présence de la chaux, loin de nuire à la qualité du fer, le rendait plus doux et plus tenace.

198. Les propriétés du *magnésium* et du *barium* par rapport au fer, nous sont encore inconnues. Il ne sera point question ici des autres métaux terreux. La magnésie et la baryte ne peuvent être décomposées par le fer sans une addition de charbon. On ignore si les produits de ces décompositions sont assez fixes pour entrer en combinaison avec le fer.

DE LA COMBINAISON DU FER AVEC LES AUTRES MÉTAUX.

199. Malgré le haut degré de chaleur qu'exige le fer pour entrer en fusion, il est peu de métaux avec lesquels on ne parvienne à l'unir. La loi qui règle les proportions dans les alliages de métaux fusibles, échappe à nos observations : elle doit être plus sensible à nos yeux, si l'un d'eux est réfractaire; cependant nous

ignorons encore quelles sont ces quantités pour le fer. Il est probable que toutes les combinaisons en général ne peuvent avoir lieu que par proportions déterminées ; car les alliages ordinaires, comme ceux du cuivre avec le plomb, de l'étain avec le plomb, du cuivre avec l'étain dans le métal des canons, ne sont presque toujours que des mélanges. Dans celui de beaucoup de cuivre avec peu d'étain, on voit de petits grains composés de beaucoup d'étain et de peu de cuivre, disséminés dans toute la masse.

200. Le fer qui s'allie à *l'or* dans toutes les proportions, n'en affaiblit pas la ténacité d'une manière très-sensible : douze parties d'or et une de fer ont donné un alliage qui, selon Hachette, était encore très-malléable. L'acier et la fonte ont produit avec l'or un résultat semblable. D'un autre côté, il paraît que ce métal ne communique au fer aucun défaut. D'ailleurs son influence ne peut être un sujet d'inquiétude pour les propriétaires de forges.

201. On suit différens procédés pour dorer le fer ; on peut, après en avoir poli et bleui la surface, la couvrir d'une feuille d'or, ou l'enduire d'abord d'un vernis, qu'on brûle après y avoir posé cette feuille, ou faire précipiter sur le fer l'or dissous dans l'eau régale (dans ce cas, il faut d'abord étendre la dissolution avec l'éther sulfurique), ou enfin frotter le métal avec un amalgame d'or, et chasser le mercure par la sublimation ; *c'est la dorure par le feu.*

La dernière de ces méthodes exige que la surface du fer ait été couverte d'abord d'une légère pellicule de cuivre, à l'aide d'une dissolution composée selon la recette suivante, due à Rinman : deux onces d'acide sulfurique concentré, trois onces du même acide un

peu moins fort, trois quarts d'once d'alun, un quart d'once de sel ammoniac, trois huitièmes d'once de vitriol de cuivre, une demi-once de vitriol de zinc, et cinq onces de vinaigre pur; le tout dissous, à une chaleur modérée, dans trois livres deux onces d'eau de rivière. C'est avec cette liqueur et avec du mercure qu'on arrose le fer, jusqu'à ce qu'il commence à se couvrir d'une couche pâle, et qu'à sa surface il s'attache de petites gouttes du métal liquide. C'est alors seulement qu'il est traité par l'amalgame. On peut sublimer le mercure par une température qui correspond à la couleur violette du recuit. La dorure au moyen des feuilles d'or réussit très-bien sur le fer couvert d'une légère couche du précipité de cuivre.

Il existe une autre espèce de dorure qu'on appelle *or haché;* on l'effectue en faisant dans le métal une infinité de petites hachures, que l'on couvre ensuite de feuilles d'or découpées selon la figure qu'on veut obtenir; on les applique avec un marteau de cuivre jaune; on polit la surface et l'on chauffe ensuite ce métal jusqu'à la couleur bleue: c'est aussi par ce moyen qu'on fait les incrustations.

202. Cinq parties *d'argent* peuvent se combiner, d'après Rinman, avec une partie de fer. L'argent, sans rien perdre de sa ténacité, devient alors plus dur, et servirait, selon le même auteur, avec plus d'avantage à la confection de boucles, de couteaux pour trancher les fruits, etc. Gellert prétend que ces deux métaux s'allient très-facilement l'un à l'autre; Morveau pense que maintenus ensemble en fusion, ils finissent par se séparer selon leur pesanteur spécifique, et forment deux culots distincts dont l'un se compose d'argent ferrugineux, et l'autre de fer argentiféré.

Selon Coulomb, l'argent ne peut retenir que $\frac{1}{150}$e de fer, et le fer, selon Morveau, $\frac{1}{80}$e d'argent qui lui donne une grande dureté et une fort belle texture.

Quelque différentes que soient les opinions des métallurgistes sur la quantité d'argent qui peut s'allier au fer, elles sont d'accord sur un seul point : c'est qu'il n'en reçoit aucun défaut. Mais les essais d'affinage qui ont eu lieu dans la Haute-Silésie, ont cependant présenté d'assez mauvais résultats par suite d'une addition à la loupe d'un et demi pour cent d'argent le plus fin. Les ringards qui servaient à retirer le fer par attachement, laissaient dégager à leur sortie du feu, une vapeur verte bleuâtre, qui continuait de s'échapper pendant le forgeage, jusqu'à ce que le fer fût arrivé au-dessous du degré de la chaleur blanche. L'affinage n'était pas plus difficile qu'à l'ordinaire, mais le fer se forgeait mal, présentait des pailles et des solutions de continuité ; les barres étaient criquées sur leurs arêtes, et ressemblaient assez au fer rouverin : après le refroidissement, elles offraient beaucoup de résistance. Sur dix barres, on n'a pu en recevoir que trois. L'essai d'affinage a été fait avec 141,91 de fonte et 2,175 d'argent fin.

Je n'ai pas encore déterminé la quantité d'argent contenue dans l'alliage; mais on peut conclure de ce qui précède, qu'une petite dose d'argent doit augmenter la dureté et la ténacité du fer *.

* M. Karsten, qui depuis a fait les analyses des divers alliages exécutés en grand dans les forges de la Silésie, a bien voulu m'en communiquer les résultats. L'argent s'est trouvé combiné avec le fer dans la proportion d'un 0,0037 ou de 0,37 pour cent : MM. Stadart et Feraday, dont les expériences seront citées plus tard, ont allié l'argent à l'acier dans la proportion seulement de 0,20 pour cent. Le T.

203. Après avoir poli le fer, on peut l'argenter avec des feuilles d'argent, qu'on brase à sa surface au moyen d'une soudure composée de quatre parties d'argent fin et de deux ou trois de cuivre jaune. On fait usage d'une soudure d'étain si les objets sont étamés et que les aciers ne puissent supporter le degré de chaleur requis pour la soudure ordinaire, sans perdre une partie de leur dureté.

On peut argenter aussi avec les amalgames, en couvrant d'abord la surface du fer par une couche de cuivre précipité comme pour la dorure. L'argenture devient très solide, si au lieu d'employer l'amalgame, on opère à froid, en frottant le fer couvert de cette couche de cuivre, avec de la poudre à argenter, jusqu'à ce qu'il n'existe plus une trace de couleur rouge: on obtient cette poudre en mêlant une partie d'argent précipité, à l'aide du cuivre, d'une dissolution, avec quatre de tartre et quatre de sel marin.

204. Le platine, qui s'allie au fer, paraît en augmenter la dureté, mais cette combinaison que l'on rencontre aussi dans la nature, présente peu d'intérêt au sidérurgiste. Le mercure ne se combine avec le fer qu'à la chaleur rouge et par suite d'un contact long-temps prolongé.

205. *Le cuivre* peut s'unir à une faible quantité de *fer* et *vice-versâ*. Les alliages qui en résultent ont, à peu de chose près, les propriétés du métal dominant; ce qui a fait croire à plusieurs métallurgistes, qu'il n'existait point de combinaisons de ce genre. Le maximum de cuivre qui peut s'allier au fer, et l'influence qu'il exerce sur les propriétés de ce dernier sont encore un sujet de contestation. Il est bien reconnu cependant que le cuivre augmente la ténacité et la

dureté de la fonte. Rinman voudrait par cette raison qu'on l'alliât au fer cru, pour la confection des ancres, des pilons, des enclumes, des cylindres, etc., etc. Je viens d'apprendre que des bouches à feu coulées en Suède avec un alliage semblable, ont eu un plein succès; mais il faut attendre la confirmation de cette importante nouvelle.

Rinman, dans un endroit de son ouvrage, prétend que le fer ductile devient rouverin par la présence du cuivre; ailleurs il le nie. Levavasseur a découvert du cuivre dans un fer rouverin. Hassenfratz a trouvé par une combinaison directe, que l'alliage de ces deux métaux est rouverin et cassant à froid; mais il n'en fixe point les proportions. La plupart des hommes qui pratiquent l'art des forges, croient fermement que le cuivre rend le fer rouverin; qu'un petit morceau de ce métal, détaché de la tuyère par la négligence des affineurs, peut détériorer une loupe entière. Pour éclaircir ce point important, j'ai fait des expériences dans les foyers d'affinerie, aux forges de la Silésie; elles m'ont prouvé que le cuivre en petite quantité, loin de porter préjudice à la qualité du fer, ne fait qu'en augmenter la résistance et la dureté, sans le rendre ni aigre ni rouverin; mais qu'une plus forte dose peut lui donner ces défauts. Je ne puis encore faire connaître les proportions de ces alliages *. L'argent et le cuivre semblent donc agir de la même manière sur le fer, avec la différence cependant, que le premier peut entrer dans l'alliage en plus grande quantité, sans nuire à la ténacité du métal.

---

* D'après les résultats d'analyse qui m'ont été communiqués par M. Karsten, il paraît que ce fer ne contenait que 0,25 pour cent de cuivre. Le T.

206. Le cuivre a beaucoup d'affinité pour le fer, sans pouvoir s'allier à ce métal dans toutes les proportions. On s'en sert pour brâser ou joindre ensemble deux morceaux de fer, quand il est impossible de les souder; quelquefois il est remplacé dans cet emploi par le laiton doué d'une plus grande fusibilité.

On a vainement essayé de donner au fer une enveloppe de cuivre coulé, ou de le couvrir d'une couche de ce métal par la voie humide, en se servant du vitriol de cuivre. Le plaquage et les incrustations ont eu plus de succès; ces opérations se réduisent au reste, à liquéfier, au moyen du borax, le cuivre qui doit remplir les ciselures pratiquées dans le fer.

207. *Le plomb*, d'après Rinman, peut se combiner avec une très-petite quantité de fer, et acquérir alors une plus grande dureté; mais ce métallurgiste ne parvint à faire ni cette combinaison ni la combinaison inverse, au moyen d'une simple fusion: il n'y réussit qu'en provoquant une action plus intime des molécules, soit en faisant servir le fer à la réduction du plomb, soit en mêlant les oxides et en les réduisant tous les deux avec de la poussière de charbon.

Guyton Morveau a obtenu depuis deux culots distincts, en fondant le fer avec le plomb: l'un composé de plomb et d'un peu de fer, l'autre de fer et d'un peu de plomb; ce chimiste n'en donne pas les proportions.

Les minérais de fer contiennent souvent du plomb: il est donc important de bien connaître les propriétés de l'alliage de ces métaux. Traités dans les hauts fourneaux, ces minérais donnent quelquefois du plomb réduit qui, à la fin de la coulée, sort du creuset avec le fer cru. Après la mise hors, on le trouve sous la

pierre de fond, soit en nature soit oxidé, et même transformé en très-beau minium.

Dans mes propres expériences, je n'ai jamais réussi à combiner ces deux métaux par une simple fusion; le fer ductile sans charbon ne fondait point; avec une addition de ce combustible en poussière, je n'obtenais comme avec le fer cru, que du plomb et de la fonte blanche, qui n'en contenait pas une trace. La litharge réduite avec du fer cru en excès, m'a donné le même résultat, plus une certaine quantité de scories composées de l'un et de l'autre métal. En substituant le fer ductile au fer cru, j'ai obtenu un alliage par une très-haute température : le culot parfaitement bien fondu était enveloppé de tous côtés par le plomb, les scories étaient noires et contenaient une partie des deux métaux. Voici le terme moyen des résultats de cinq essais différens que j'ai faits avec 100 parties de fer ductile et 300 de litharge;

Culot de plomb, 239 parties, au lieu de 278,55; par conséquent 39,55 parties de plomb ont été vitrifiées;

Culot de fer, 22,5; il s'ensuit que 77,5 parties de fer à l'état de protoxide, combinées avec 22,8 d'oxigène, sont entrées en vitrification. Mais les 239 parties de plomb ne pouvaient fournir que 17,1 d'oxigène, à raison de 7,15 pour cent; le reste provenait donc de l'air renfermé dans le vase, ou de celui qui s'y serait introduit pendant l'opération : il est possible même que la matière du creuset en ait cédé une certaine quantité.

Le culot de fer n'avait point les propriétés du fer ductile ordinaire; sa texture était lamelleuse, on pouvait le forger légèrement, mais bientôt il montrait de fortes crevasses, il était aigre, ne possédait aucune dureté, se dissolvait sans donner le moindre résidu dans

l'acide nitrique, et ne contenait par conséquent point de carbone. Saturée par l'ammoniac caustique et traitée ensuite par le sulfate de potasse, la dissolution donna 2,8 pour cent de sulfate de plomb contenant 2,06 de métal; de sorte que ce régule, qui avait quelque ressemblance avec la fonte, était composé de 97,94 de fer et de 2,06 de plomb.

Le culot de plomb obtenu par la réduction de la litharge, a été dissous à chaud dans l'acide nitrique et traité par le sulfate de potasse. Après avoir neutralisé la dissolution, on s'est débarrassé du sulfate de plomb au moyen de l'évaporation; la liqueur ayant été ensuite saturée, neutralisée et traitée par le benzoate de soude, n'a laissé apercevoir aucune trace de fer.

Il résulterait donc de ces expériences que, par une simple fusion, le plomb et le fer ne peuvent s'allier entre eux, que la fonte ou le fer carburé en réduisant la litharge, ne donnent lieu à aucun alliage, mais que le fer pur placé dans les mêmes circonstances, peut retenir jusqu'à 2,06 de plomb, ce qui le rend plus aigre et plus fusible sans le durcir. Enfin que le plomb, dans l'un et l'autre cas, ne peut s'unir à une petite quantité de fer; résultats qui sont à la fois opposés à ceux de Rinman et à ceux de Guyton-Morveau.

208. Il paraît donc que le fer n'acquiert aucun vice par la présence du plomb dans les minérais, si toutefois on les traite dans les hauts fourneaux pour en obtenir de la fonte, puisque le plomb et le fer cru ne peuvent se combiner ensemble. En décomposant des fers crus, qui provenaient de minérais plombifères, l'analyse ne m'a jamais montré la plus légère trace de plomb. Cependant, il est possible qu'une très-faible dose puisse échapper aux opérations du chimiste;

d'un autre côté, cet alliage pouvant exister pour le fer pur, on ne peut qu'applaudir aux efforts des métallurgistes qui, à ce sujet, firent des expériences synthétiques.

M. Hassenfratz a fait des essais sur le plomb, le cuivre et d'autres métaux mis dans de petits canons de fer qu'il a soumis ensuite à la chaleur blanche : c'était un moyen de cémenter le fer en quelque sorte par la vapeur des métaux étrangers. Mais quelque intéressantes que soient ces expériences, elles perdent de leur prix, parce que cet auteur ne donne aucun renseignement sur les proportions des alliages obtenus ; il n'indique ni le poids du plomb employé, ni le poids du canon avant et après l'opération. Ce sont cependant ces proportions qu'il est nécessaire de connaître ; car il est possible que le fer ne soit détérioré que par une forte dose de certains métaux étrangers, et alors le sidérurgiste praticien n'a plus rien à craindre de leur influence. Traité de cette manière avec le plomb, le fer se forgeait difficilement ; il était rouverin et cassant à froid : ce résultat me paraît susceptible de quelques rectifications. Il est possible que le fer soit devenu rouverin par une circonstance accidentelle, et qu'un certain degré de sa fragilité à froid puisse seul être attribué à la présence du plomb.

Dans les essais d'affinage que j'ai faits en Silésie, avec de la litharge ou du plomb ajouté à la loupe, je n'ai pu m'apercevoir d'aucune action nuisible de ce métal sur le fer *.

---

* Dans les expériences de M. Hassenfratz, on forçait, pour ainsi dire, les métaux de se mêler dans des proportions autres que celles qu'ils auraient choisies, si, à l'état liquide, ils s'étaient trouvés abandonnés à l'action de leurs mollécules. Les résultats obte-

209. En fondant le fer avec l'étain, à une dose quelconque, on obtient toujours deux alliages distincts dans des proportions constantes; l'un se compose de vingt-une parties d'étain et d'une de fer, l'autre de deux de fer et d'une d'étain. Le premier est malléable et plus dur que l'étain, sans être aussi brillant, l'autre est très-peu malléable et trop dur pour être rogné avec le couteau.

La fonte contenant de l'étain a une texture aussi fine que l'acier, est très-sonore, peut recevoir un très-beau poli, possède une grande dureté sans se fendre aussi facilement par les secousses et sans se rouiller aussi vîte que la fonte ordinaire. Rinman propose de l'employer pour plusieurs objets d'ornement, pour des miroirs métalliques et pour des cloches sur-tout; parce qu'elle possède une grande fusibilité.

M. Hassenfratz a combiné l'étain avec le fer ductile par le procédé cité au paragraphe précédent; il a trouvé que le fer imprégné d'étain ne pouvait se forger et qu'il tombait en pièces sous le marteau. Une feuille de fer-blanc placée entre deux feuilles de tôle a produit le même effet.

Nous avons fait à ce sujet des essais d'affinage dans les forges de la Silésie: il en est résulté qu'un pour cent d'étain ajouté à la fonte rend le fer extrêmement fragile à froid; mais il n'est point rouverin et il se laisse très-bien forger à chaud, en donnant continuellement des vapeurs blanches qui se condensent sur l'enclume

---

nus par des essais d'affinage, quoique bien plus intéressans pour la pratique que ceux-là, ne peuvent donc fournir contre eux aucune induction. Une très-petite quantité de soufre paraît augmenter la ténacité du fer, une plus grande le rend cassant à froid.

Le T.

et le marteau. Il ne m'a pas encore été possible d'analyser les résultats obtenus, mais on peut assurer d'avance qu'un pour cent d'étain peut rendre le fer très-cassant à froid *. Peut-être une plus forte dose le rend-il rouverin et même entièrement intraitable. Il faut donc se défier de ce métal que l'on rencontre souvent en affinant la ferraille.

210. L'étain manifeste déjà son affinité pour le fer à la température de la fusion; il s'attache alors à la surface de ce métal et fournit ainsi un excellent moyen de la protéger contre la rouille, c'est ce que l'on appelle l'*étamage* ou *mise au tain*. On n'en fait usage que pour le fer forgé. On pourrait étamer aussi le fer cru; mais la fonte blanche ne peut être employée pour la confection des ustensiles, à cause de sa fragilité, et la fonte grise étant trop poreuse donne toujours un étamage imparfait.

La mise au tain de la tôle constitue une branche importante de la sidérurgie, elle aura sa place dans le cours de cet ouvrage. La théorie de cette opération est très-simple; elle consiste à combiner le fer avec l'étain par une température convenable. Le point essentiel, c'est de donner à la surface étamée l'éclat le plus brillant.

211. Le fer trempé dans le zinc liquide, se couvre d'une couche de ce métal; cependant, on n'a pu encore les allier, soit par la fusion, soit par la réduction simultanée de leurs minérais. Le zinc, d'après Rinman,

* M. Karsten n'a pu trouver dans ce fer que 0,1 pour cent d'étain. Il a fait l'analyse de cet alliage et celle des métaux dont nous avons déjà parlé, en traitant par l'hydrogène sulfurée, la dissolution du fer opérée dans l'acide sulfurique.

Le T.

doit ramollir le fer et le rendre aigre, mais cet auteur pense qu'une combinaison véritable entre ces deux métaux est encore douteuse. Plus tard, Gemelin a fait aussi des essais infructueux pour les allier par la fusion.

Le fer pur ne peut réduire les oxides de zinc, et si l'on emploie la fonte, à cause de son carbone, on obtient du fer demi-affiné *. Le zinc réduit s'échappe en vapeurs et la majeure partie de son oxide s'unit à celui du fer et forme des scories.

212. On traite des minérais de fer contenant du zinc dans plusieurs usines : il est donc intéressant pour le sidérurgiste de connaître et la possibilité d'une semblable combinaison et la nature de ses résultats. Les vapeurs qui s'échappent des hauts fourneaux, sont une preuve incontestable que la majeure partie du zinc est chassée à l'état d'oxide. L'éclat de la flamme et l'abondance de ces vapeurs augmentent avec la chaleur du foyer; cependant, une grande partie de cet oxide mêlé avec du zinc réduit se condense dans les régions supérieures de la cuve, s'accumule lorsque la température baisse, et la tapisse sur une profondeur de plusieurs pieds. Si les minérais contiennent du plomb, on trouve de petits globules de ce métal renfermé dans le dépôt, qu'on appelle *cadmie* ou *tutie*.

Quand la cadmie commence à engorger la cheminée, on la détache et on en extrait le zinc qu'elle donne en grande quantité. L'expérience a prouvé depuis longtemps que des fragmens de cette matière tombés dans le fourneau, nuisent à la qualité de la fonte; ce qui semblerait annoncer une combinaison entre les deux

* On l'appelle demi-affiné, parce qu'il contient encore beaucoup de matières étrangères, lors même qu'il a perdu presque tout son carbone. Le T.

métaux. D'un autre côté, on ne peut douter que le zinc ne s'allie à une petite quantité de fer; on n'en trouve presque jamais qui soit entièrement purgé de ce dernier métal, lors même qu'on le retire de la calamine traitée dans des vaisseaux distillatoires; la présence du fer le durcit. Liquéfié dans des chaudières de fonte à une forte chaleur, et refroidi lentement, il absorbe quelquefois 2 ou 3 pour cent de fer qui lui communiquent une si grande dureté, qu'on peut le réduire en poudre.

213. Pour avoir une idée plus juste de l'influence du zinc sur le fer, j'ai eu recours à des essais en grand, exécutés à la forge dite Kœnigshütte, dans un des hauts fourneaux allant au coke; j'ai fait fondre 32 milliers de calamine, contenant 16 pour cent de zinc et 31 de fer, trop pauvre par conséquent pour pouvoir être traitée pour zinc : je n'ai ajouté à cette espèce de minérai de fer, ni fondant ni aucun assortiment. Les vapeurs sortaient du fourneau par torrens; une flamme verte bleuâtre s'élevait à douze ou quinze pieds au-dessus du gueulard; la bouche de la tuyère était continuellement couverte d'un nez, d'une voûte de matières durcies, et cependant la chaleur qui régnait dans l'intérieur du foyer semblait très-considérable; car les scories d'une couleur bleue foncée étaient souvent pierreuses dans leur cassure.

La flamme de la tuyère ne semblait que légèrement modifiée par la combustion du zinc; le fer cru sortait du creuset avec beaucoup de vivacité et présentait d'abord l'aspect de la meilleure fonte grise, mais il était très-rouge et se refroidissait si promptement qu'il pouvait à peine couler dans les rigoles. Après le refroidissement, sa surface supérieure se trouvait couverte

d'une croûte assez épaisse, signe d'une forte oxidation; d'un autre côté, des dépressions, des excavations considérables, annonçaient le haut degré de chaleur dont il avait été pénétré. Sa cassure était grenue, brillante, et ressemblait à celle de la fonte grise; pris en masse, il était doux, susceptible de recevoir l'impression du marteau, sans offrir cependant une grande résistance; réduit en pièces, on le divisait facilement en petits morceaux, preuve de la faible cohérence qui régnait entre les grains; il ne répandait en coulant ni flamme ni odeur.

L'allure du fourneau ne fut point dérangée d'abord par la présence du zinc; mais deux jours après que les essais furent terminés, on vit sortir du gueulard et de l'avant-creuset une grande quantité de vapeurs; et la flamme, particulièrement à la tympe, reprit l'éclat de celle du zinc en combustion. Bientôt, et sans que le chargement fût dérangé, le fourneau se trouva considérablement refroidi, la fonte devint blanche et matte, les scories noires et poreures, la bouche de la tuyère se couvrit d'un nez, et des matières durcies se firent sentir dans l'ouvrage. Cet état qui dura cinq jours entiers, mit le fourneau dans le plus éminent danger.

La fonte obtenue par les essais, fut affinée dans les forges de Creutzbourg, sous la surveillance de M. l'inspecteur Paul renommé pour une grande sagacité dans les expériences. Le fer cru se fondit en conservant presque toute sa nature de fonte; des scories rouges et très-liquides se formèrent en grande quantité *; la

* Ces scories, dont les propriétés seront développées plus tard, se forment toujours pendant la première période de l'affinage, lorsque le métal est encore à l'état de fer cru: il est bien essentiel de ne pas les confondre avec une autre espèce de scories qu'on

flamme qui s'élevait du foyer était blanche, éclatante, et devenait quelquefois bleuâtre ou jaunâtre : après la fusion, on eut soin de laisser congeler les scories sur le bain. On aperçut alors de petits jets de flamme bleus jaunâtres traverser la croute de matières avec un léger bruissement. Le changement de la fonte en fer ductile fut extrêmement rapide ; on ne put soulever la masse qu'une seule fois. Les scories douces se trouvaient être peu abondantes, le fer contenu dans le creuset était sec; il fallait y jeter une grande quantité de battitures, ce qui est directement opposé à la manière dont la fonte obtenue au coke se comporte ordinairement dans les foyers d'affinerie. L'opération par attachement * réussit parfaitement; la loupe était molle : on aurait pu la couper avec le marteau, si le fer n'avait été en même temps extrêmement tenace : du reste, il ne paraissait ni rouverin ni cassant à froid.

---

obtient vers la fin de cette opération, lorsque la fonte commence à se convertir en fer ductile. Celles-ci sont employées avec avantage dans les feux d'affinerie; elles hâtent le changement qu'on veut opérer, et augmentent les produits. Celles-là sont extrêmement liquides, vitrifiées et imprégnées de la plus grande partie des matières étrangères contenues dans le fer cru; elles lui conservent toute sa crudité, lorsqu'on ne les fait pas écouler: nous les appellerons quelquefois, par analogie avec le mot *fer cru*, *scories crues*, et nous donnerons aux autres le nom de *scories douces*, parce qu'elles adoucissent le fer, qu'elles le font passer de l'état de fonte ou d'acier à l'état de fer doux. Nos auteurs, sans établir une distinction bien marquée entre ces deux espèces de scories, ont quelquefois appelé les premières *laitiers* ou *scories pauvres;* mais il existe, ainsi qu'on le verra par la suite, des scories crues très-riches et qui le sont même assez pour être traitées comme minérais de fer.

Le T.

* C'est une manière particulière d'achever l'affinage à l'allemande.

Le T.

Mes occupations m'ont empêché jusqu'aujourd'hui de faire l'analyse de ce fer; cependant je me suis assuré préalablement que la fonte contenait du zinc, mais le fer forgé ne m'en a donné aucun indice *.

214. Ce qui précède doit suffire pour dissiper toute espèce de crainte sur la présence du zinc dans les minérais; cependant, pour ne laisser aucun doute, je fis exécuter aussi des essais d'affinage, en ajoutant au fer cru une certaine quantité de zinc, soit à l'état métallique, soit à l'état d'oxide : ces opérations ont reçu un haut degré de précision par les soins et l'habileté de M. Paul. Il en est résulté que ce métal n'a donné aucune mauvaise qualité au fer.

Rinman aussi pense que le zinc ne doit inspirer aucune crainte à ce sujet. M. Hassenfratz, dans ses essais, a obtenu des résultats un peu différens : le fer s'est laissé bien forger, mais il était un peu rouverin et cassant à froid. Quoi qu'il en soit, je ne puis, d'après mes propres expériences, attribuer au zinc une action nuisible sur le fer. Le dérangement du fourneau (215) n'est, à mes yeux, qu'un effet particulier du zinc; il ne doit être considéré que comme une suite naturelle de la grande évaporation et du refroidissement qu'elle a dû produire.

215. Le zinc n'a pas été employé jusqu'à présent pour l'étamage du fer, soit parce que l'étain est moins attaqué par l'action de l'air humide et des acides, soit parce qu'on ne connaît point de moyen praticable

---

* M. Karsten n'a pas trouvé de zinc ni dans la fonte ni dans le fer ductile. Il soupçonnait que l'oxide de ce métal était précipité par l'ammoniaque avec l'oxide de fer; mais en tenant le dépôt en ébullition dans la potasse caustique, il n'a pu obtenir une trace d'oxide de zinc. Le T.

de couvrir le bain et d'empêcher l'oxidation de la feuille en la retirant de la chaudière. Ce métal exige une forte chaleur rouge pour devenir parfaitement liquide, et les matières grasses employées dans l'étamage ordinaire, se volatilisent à ce degré de température. Comme le zinc, vu son bas prix, pourrait remplacer l'étain dans beaucoup de circonstances, il serait à désirer qu'on pût découvrir une substance propre à couvrir le bain.

216. Brand, Henkel et Gellert, prétendent avoir obtenu une combinaison de 2 à 3 parties *de bismuth* avec une de fer; mais Beaumé en conteste la possibilité : les opinions des métallurgistes sont encore partagées. Rinman ne parvint pas à produire ce composé; le bismuth et le fer qu'il fondait ensemble paraissaient d'abord entièrement mélangés et se séparaient ensuite. On peut, sous ce rapport, assimiler le bismuth au plomb : il est probable que le fer en prend une petite quantité, mais la réciproque ne peut encore être soutenue avec certitude.

Quoique j'ignore s'il existe des forges où l'on traite des minérais renfermant du bismuth, il m'a paru intéressant de connaître son action sur le fer. J'ai donc fait des essais d'affinage; il en est résulté qu'une addition d'un pour cent de bismuth, ne peut avoir aucune influence sur la qualité du fer.

D'après les expériences de M. Hassenfratz, le fer allié au bismuth se laisserait forger assez bien; cependant, il serait un peu rouverin et très-cassant à froid après la trempe.

217. Le fer paraît s'unir à l'antimoine, dans toutes les proportions; il en devient plus dur, plus aigre, plus fusible, et se rapproche de la fonte. L'antimoine, à

son tour, devient, en s'alliant au fer, plus dur et plus réfractaire. J'ai fait effectuer des essais dans les forges de Creutzbourg (Haute-Silésie); j'ai ajouté à la fonte, après qu'elle fut liquéfiée, un pour cent d'antimoine. Malgré sa volatilité, il a eu sur le fer, une influence plus funeste encore que l'étain. La loupe dégageait aussi des vapeurs blanches; le fer devenait rouverin et très-cassant à froid.

Ces résultats sont conformes à ceux de M. Hassenfratz. Je n'ai pu opérer encore les analyses des fers obtenus.

218. L'arsenic, qui paraît aussi s'unir au fer dans diverses proportions, en augmente la dureté, l'aigreur et la fusibilité. Il est faux de dire, qu'une petite dose suffise pour neutraliser les propriétés magnétiques du fer; cet effet ne peut avoir lieu que pour les alliages où il entre au moins parties égales de ces deux métaux. Très-peu d'arsenic, selon les expériences de Bergman, ne peut rendre le fer ni rouverin ni cassant à froid. Le grillage ne suffit pas pour le chasser entièrement; on s'en débarrasse en fondant l'alliage à plusieurs reprises avec de la poussière de charbon.

Rinman soutient que la plus faible quantité d'arsenic rend le fer cassant à froid, mais cette opinion est pour le moins exagérée. D'après les essais de M. Hassenfratz, faits comme nous l'avons dit précédemment, l'alliage se forgeait bien, mais il ne se laissait pas souder; il répandait une odeur d'ail pendant le martelage et paraissait en général plutôt rouverin que cassant à froid. Selon mes expériences, un peu d'arsenic ajouté à la loupe, retarde l'affinage de la masse à tel point qu'il faut deux ou trois fois plus de temps pour l'effectuer: il se produit une grande quantité de laitier corrosif et

avide de fer qui occasionne un déchet considérable, et qui pourrait même, si les essais étaient continués avec des doses d'arsenic plus fortes, faire entrer toute la masse en vitrification. Le fer devenu bien plus dur par cette opération est plus aigre qu'à l'ordinaire, mais il se forge sans criques ni pailles. J'ai employé un pour cent d'arsenic blanc ; mais j'ignore encore en quelles proportions les métaux se sont combinés.

219. Le *nickel*, d'après Bergman, s'unit au fer dans toutes les proportions et donne un alliage doux et tenace. Les autres propriétés du nickel ajoutent beaucoup de poids à cette opinion et doivent rassurer les maîtres de forges. La rareté de ce métal, lorsqu'il est pur, m'empêcha de l'employer dans les essais d'affinage.

M. Hassenfratz annonce que le fer traité avec du *kupfernikel* n'est pas doué de soudabilité, que très-difficile à forger, il est même un peu cassant à froid; mais on ne peut tirer aucune conséquence de cet essai ; l'auteur ne s'est point servi du nikel pur, et le kupfernikel contenait probablement de l'arsenic et du soufre, qui nécessairement ont dû rendre le fer rouverin *.

220. Le cobalt, selon les expériences de Brand

---

* Ces conclusions de M. Karsten sont d'accord avec les résultats des expériences de MM. Stodart et Faraday. Leur alliage imitant le fer météorique qui renferme trois pour cent de nikel, paraissait aussi malléable et aussi facile à travailler que le fer pur : l'alliage d'un dixième de nikel, semblable au fer météorique de Sibérie, était un peu moins malléable. Le fer météorique d'Afrique, rapporté par M. le capitaine Barow, et qui, d'après M. Tennant, contient dix pour cent de nikel, s'est laissé très-bien forger, et a donné une excellente lame d'épée. Voyez les Annales des Mines, vol. 6, page 260 et 271.

Le T.

et de Bergman, s'allie au fer dans toutes les proportions, particulièrement lorsque le premier de ces métaux est la partie dominante: l'alliage, dit-on, possède la ductilité du fer. Il en résulterait au moins, qu'en petite dose, le cobalt ne peut influer d'une manière désavantageuse sur la qualité du fer. N'ayant pu me procurer une quantité suffisante de ce métal, dans toute sa pureté, il m'a été impossible d'en essayer les effets aux foyers d'affinerie.

M. Hassenfratz confirme en quelque façon les résultats des anciens métallurgistes; dans ses expériences, le fer traité avec le cobalt, se laissait forger et souder, quoiqu'il fût un peu brisant à chaud; mais il n'était point cassant à froid.

221. Nous avons peu de lumières sur les alliages du fer avec le *titane*, le *tungstène*, l'*urane*, le *chrôme*, le *molybdène*, le *tellure* et les autres métaux découverts plus tard, tels que le *tantale*, le *cerium*, le *palladium*, l'*iridium*, l'*osmium* et le *rhodium*, parce que leur extrême rareté les classe encore parmi les objets précieux pour les cabinets minéralogiques *.

L'alliage du fer avec le titane est, d'après M. Lampadius, blanc, aigre et presqu'infusible. Le titane se trouve fréquemment dans le nord, et sur-tout dans la Norwége; il rend les minérais de fer tellement réfractaires, qu'au fourneau d'Arendahl, qui va au

---

* MM. Stodart et Faraday ont allié avec le fer, le platine, le chrôme, le palladium, le rhodium et l'osmium; tous ces alliages, comme celui du fer avec le nikel, ont la propriété de se durcir par la trempe; mais ils sont moins durs que les alliages de ces mêmes métaux avec l'acier. (Voyez les Annales de Chimie, tome 21, pages 62 et suivantes).

Le T.

charbon de bois, et dont la hauteur est de 35 pieds, on ne peut quelquefois les mettre en fussion; au lieu de nuire à la qualité des produits, il augmente à la fois leur ténacité et leur dureté. M. Hassenfratz a remplacé le titane par le schœrl rouge, qui, d'après Klaproth, en est un oxide; il a trouvé que le fer traité par cette substance, se laissait très-bien forger sans être ni rouverin ni cassant à froid.

Pour ce qui est du *tungstène*, il a donné au même auteur un alliage qui se forgeait assez bien, quoiqu'il fût légèrement rouverin : il était ductile, *découvrait* par la trempe et prenait par le forgeage un nerf mélangé de grain. On doit en conclure que semblable sous ce rapport au titane, le tungstène ne fait qu'augmenter la dureté du fer.

Si l'influence du phosphore sur les propriétés du fer n'était point constatée par de si nombreuses expériences, on pourrait croire que le *chrôme* trouvé par M. Vauquelin dans les minérais dits terreux-limoneux, contribue à la fragilité du fer. Mais tous les minérais de cette nature n'en sont pas toujours accompagnés, et les expériences de M. Hassenfratz, prouvent que, sans rendre le fer cassant à froid, il peut lui donner le défaut d'être seulement un peu brisant à chaud *.

222. Le manganèse est de tous les métaux celui que

* On peut être certain que ce n'est pas le chrôme qui communique au fer le défaut d'être cassant à froid; puisque même un centième et demi de ce métal ajouté à l'acier, a produit un très-bon alliage. On sait d'ailleurs que toutes les substances qui rendent le fer cassant à froid, agissent d'une manière bien plus nuisible sur l'acier. Voyez les expériences de M. Berthier, Annales des Mines, vol. 6, page 579.

Le T.

l'on rencontre le plus souvent avec le fer; il en augmente la dureté sans en affaiblir la ténacité. Mais dans quelles proportions ces deux métaux se combinent-ils ensemble? c'est un problème dont la solution paraît presqu'impossible, à cause de la haute température qu'il faut employer pour les fondre, car le manganèse exige aussi 160° de Wed. Cependant, on peut croire que les alliages ont lieu dans toutes les proportions. La présence du carbone en augmente la fusibilité comme pour le fer cru, et leur conserve la couleur blanche, la dureté, l'aigreur et la texture rayonnante; la fonte blanche naturelle est un alliage de fer et de manganèse combiné avec le carbone.

Le manganèse possède la propriété de blanchir le fer cru; en forte dose, il empêche la formation de la fonte grise, lors même que le fourneau est très-bien réglé, et qu'il est animé d'une forte chaleur. La raison de ce phénomène ne peut dépendre que de la grande affinité qui existe entre le fer et le manganèse, et d'une circonstance particulière; c'est que celui-ci ne peut, comme le fer, se combiner de deux manières avec le charbon. S'il pouvait former avec ce combustible une substance analogue au graphite, on obtiendrait aussi de la fonte grise, en traitant des minérais manganésifères *.

223. La cause immédiate de la couleur blanche est la même dans la fonte blanche naturelle, et la fonte grise devenue blanche par accident; car elle provient

* Il n'y a point de doute que, si la dose de charbon est augmentée outre mesure, les minérais manganésifères ne puissent aussi donner de la fonte grise.

Le T.

toujours de la manière dont le carbone est contenu dans le régule, et le manganèse en rehausse encore l'éclat et la blancheur. Mais la cause première qui produit le blanchiment du fer cru est différente pour les deux espèces de fontes : l'une ne devient blanche que par accident; soit parce que la température du fourneau n'est pas assez élevée, soit parce qu'elle s'est figée subitement; l'autre l'est toujours, et c'est pour cette raison qu'elle porte le nom de *fonte blanche naturelle*.

224. Les deux espèces de fontes blanches se comportent de la même manière à une haute température, sauf les différences qui se manifestent lorsqu'elles sont à l'état liquide; différences qui sont dues au manganèse. Malgré cela, il est essentiel de ne pas les confondre sous le rapport métallurgique; la fonte blanche naturelle peut souvent être regardée comme un produit parfait; la sous-espèce blanche de la fonte grise ne l'est jamais, elle ne doit son existence qu'à des causes locales et accidentelles.

225. Le maganèse augmente la dureté du fer, mais il n'exerce aucune influence sur sa ductilité ou sur son aigreur, qui ne sont modifiées que par le carbone. Le fer peut contenir beaucoup de manganèse même autant que l'acier; et il peut exister de l'acier qui n'en contienne pas une trace : c'est le carbone seul qui constitue la différence de l'un à l'autre; mais il n'en est pas moins vrai que les fers ou les aciers manganésifères sont les plus durs.

Il était nécessaire de rappeler ces principes opposés à l'oppinion de certains métallurgistes, qui pensent que l'acier doit toujours contenir du manganèse en plus forte dose que le fer extrait des mêmes minérais. On a été même jusqu'à prétendre que le résultat de l'affi-

nage serait ou du fer ou de l'acier, selon la plus ou moins grande quantité de manganèse brûlée dans cette opération. Toutefois les aciers devant être doués d'une grande dureté, il s'ensuit que les meilleurs sont ceux qui contiennent du manganèse.

226. Il est un fait d'expérience, c'est que les minérais manganésifères sont particulièrement disposés à donner de l'acier, et voilà ce qui leur a valu le nom de *mines d'acier*. Cependant ce n'est point un effet immédiat des propriétés que le fer a reçues, mais c'est un effet du mode de combinaison du carbone avec ce métal, mode déterminé par la présence d'une forte dose de manganèse. Il s'ensuit que la sous-espèce blanche de la fonte grise doit se convertir en acier avec autant de facilité que la fonte blanche naturelle, puisqu'elle nous offre le fer combiné de la même manière avec le carbone. L'expérience le confirme aussi; mais cette espèce de fer cru est en général un produit très-imparfait chargé d'une grande quantité de substances étrangères dont il faut le débarrasser; ce qui exige une longue manipulation et entraîne alors la combustion presqu'entière du carbone contenu dans le fer. Tandis que l'autre, douée d'une certaine pureté, s'affine plus promptement, retient plus de charbon et même une certaine dose de manganèse, dont les effets réunis assurent au produit de l'affinage une grande supériorité.

Une bonne fonte grise blanchie peut être travaillée pour acier avec autant de facilité que la fonte blanche naturelle, si la destruction du graphite a été complète.

DE L'ACTION DU FER SUR LES OXIDES MÉTALLIQUES.

227. Le fer, dans les hautes températures, enlève l'oxigène à tous les oxides des métaux non précieux, le manganèse, le zinc et le cobalt exceptés. Une partie se change en protoxide qui se vitrifie; l'autre s'allie au métal réduit, si toutefois il existe entr'eux assez d'affinité. On ferait usage de cette propriété du fer dans la réduction des oxides métalliques, sur-tout à cause de son bas prix, si le protoxide de fer en se vitrifiant n'entraînait pas une certaine quantité de minérais, et que pendant l'opération il fût possible d'empêcher le contact de l'air atmosphérique qui agirait sur le métal réduit, et l'oxiderait une seconde fois.

DE L'ACTION DU FER SUR LES SELS.

228. Notre but n'est point de nous occuper ici des propriétés du fer mis en contact par la voie humide, avec les sels métalliques. Il précipite la plupart des oxides; et si quelquefois il est précipité à son tour par leurs radicaux, on peut expliquer ces anomalies par le partage de son oxigène.

Il est probable que les acides gazeux combinés avec les oxides, agissent sur le fer dans les températures élevées, comme les sels qu'ils formeraient avec les alkalis et les terres. En général, la nature du résultat dépend des proportions du fer employé, de la nature de l'acide et de l'affinité des deux métaux : on peut obtenir ou un oxide de fer joint à un autre oxide, ou un sel de fer et l'autre oxide, ou un sel de fer et un oxide de fer accompagnés de l'autre métal réduit,

ou simplement un oxide de fer et le métal réduit, combiné ou non avec une partie du fer. Si, par exemple, l'acide est volatil, le fer sera seulement oxidé; s'il est fixe, il se combinera avec cet oxide, en abandonnant l'autre métal; si le fer est en excès, il réduira l'oxide du sel employé, etc, etc.

229. On peut admettre en thèse générale que les sels alkalins neutres, traités par la voie humide, n'agissent point sur le fer, qui n'est oxidé qu'aux dépens de l'eau; cependant il paraît décomposer en partie, les sels d'ammoniaque. Son action sur les sels de soude, n'a lieu qu'en vertu d'une affinité élective double: le protoxide agit sur l'acide du sel, et la soude sur l'acide carbonique de l'air. Cette décomposition ne peut donc s'effectuer qu'en partie, et seulement dans le cas où la soude peut entrer en efflorescence.

230. Il s'ensuivrait des expériences de Clouët (137), que le fer mis en fusion avec des carbonates alkalins dont la base serait susceptible de se vitrifier, pourrait se changer en acier. Ce résultat est d'autant plus extraordinaire, que le carbone, dans les hautes températures, enlève l'oxigène au fer, et qu'ici ce serait le contraire. On prétend qu'une grande quantité d'oxide se vitrifie avec la base saline; que l'oxigène de l'acide se porte sur une partie du fer, et le carbone, sur l'autre qui se convertit en acier *.

Il serait essentiel de vérifier ces expériences, parce que le charbon du foyer, pénétrant presque toujours dans l'intérieur du creuset, peut donner lieu à des

* Les décompositions réciproques ne sont point impossibles; le fer décompose l'eau, et l'oxide de fer est réduit par l'hydrogène, à la même température.

Le T.

conclusions erronées. Il n'y aurait donc point de dégagement de gaz acide carbonique, ni d'oxide de carbone, chose incompréhensible! On doit douter de ces faits avec plus de raison encore, quand on pense, d'après Clouët lui-même, que l'acier mis en fusion avec un oxide de fer, donne du fer ductile pour unique produit. S'il en est ainsi, pourquoi donc l'acier, à l'instant où il se forme, n'est-il point changé en fer ductile par la présence de l'oxide? Ajoutons à cela, que l'acide carbonique n'est pas ordinairement décomposé en oxigène et en carbone; que les carbonates soumis à l'action du feu ou des corps combustibles, dégagent toujours le gaz acide carbonique en nature, ou converti en oxide de carbone. Une partie du fer pourrait donc se trouver oxidée, mais l'autre ne serait point changée en acier *.

231. Les sulfates neutres sont décomposés par le fer, parce que l'acide sulfurique lui cède facilement une partie de son oxigène, et laisse dégager du gaz acide sulfureux; ce qui arrive aussi quand on dis-

---

* Je sais bien qu'on explique ce phénomène singulier par la disposition du protoxide de fer à se vitrifier, par l'affinité du carbone pour le fer, et par d'autres forces qu'on peut mettre en jeu; mais à l'aide de ces moyens, il est facile de tout expliquer. D'un autre côté, si les carbonates sont décomposés par le phosphore et donnent du carbone et de l'acide phosphorique, je ne pense pas que de ce fait qui est connu on veuille faire une application aux expériences de Clouët; car pour qu'il y eût analogie parfaite, il faudrait aussi que les phosphates, décomposés par le charbon, pussent donner du phosphore, ce qui n'a pas lieu.

Note de l'Auteur.

L'acier Clouët, analysé depuis par M. Boussingault, n'a pas donné une trace de carbone. Annales de Chimie, tome 16.

Le T.

sout le fer dans cet acide concentré. D'après Fourcroy, il en résulte non-seulement de l'acide sulfureux, mais aussi du soufre, et par suite un sulfure à base alkaline ou terreuse; ce sulfure dissout le reste du fer métallique, et finit par entrer avec le fer oxidé en vitrification. Le soufre ne pourrait être combiné avec l'oxide, à une forte température, si en même temps il ne l'était avec la base alkaline qui l'empêche de décomposer cet oxide. Le résultat de la fusion n'est donc qu'une substance vitrifiée contenant du soufre, du fer et une base alkaline ou terreuse.

232. Le fer produit avec les nitrates neutres, une explosion d'autant plus vive qu'il contient plus de carbone. L'acide est entièrement décomposé, la base devient caustique et le métal s'oxide complétement.

233. La manière dont les hydrochlorates neutres se comportent à l'égard du fer est encore problématique : traités au feu avec ce métal hors du contact de l'air, ils sont inaltérables quand leurs bases ont une certaine fixité. L'hydrochlorate d'ammoniaque se décompose, si le mélange du sel avec le fer, humecté d'abord, est sublimé ensuite; mais les circonstances de cette décomposition ne sont pas encore assez étudiées. Il paraît qu'une partie de l'ammoniaque oxide le fer pour donner naissance aux *fleurs ammonicales ferrugineuses :* produit qu'on peut obtenir aussi par la voie humide, sous forme de cristaux d'un rouge foncé, rhomboïdaux et permanens à l'air *; il suffit de dissoudre ensemble les hydrochlorates de fer et d'ammoniaque, mais le sel métallique doit être en excès, sans cela on

* C'est le ferrohydrochlorate d'ammoniaque.

Le T.

n'obtiendrait que des cristaux de sel ammoniac pur. Il faudrait examiner si le résultat de la sublimation serait toujours le même, particulièrement dans le cas où l'on emploierait le fer oxidé, ce qui n'est pas probable.

La réduction du muriate d'argent par le peroxide (Rinman, II, 62, etc.) ne peut être due qu'à une combinaison du fer avec le chlore; car l'oxide d'argent ayant plus d'attraction pour l'acide que le peroxide de fer, ne serait point déplacé par l'effet d'une affinité simple. Une chose bien extraordinaire, c'est que tous les muriates indécomposables par le fer, à une haute température, dans des vaisseaux hermétiquement fermés, abandonnent leur acide lorsqu'on les calcine avec le fer à l'air *.

J'ai fait aussi des essais d'affinage, en ajoutant à la loupe du sel marin; le fer n'a rien perdu de sa qualité : l'acide se dégageait en vapeurs épaisses, son odeur était celle de l'acide hydrochlorique ordinaire, mais la flamme d'une couleur toute particulière, et passant du jaune de soufre au jaune bleuâtre, paraissait lourde et s'élevait avec peine. Il serait impossible d'expliquer dans cette opération tout le jeu des affinités et les changemens qu'a dû subir le sel mis en contact avec le fer, son oxide, l'eau et l'air atmosphérique. On ne peut donc en tirer aucune induction sur la manière dont le fer et ses oxides se comportent à l'égard des muriates alkalins.

234. Les acides végétaux agissent sur le fer dans les températures élevées, comme le charbon ordinaire, ayant tous la propriété de se carboniser.

---

* Ces faits s'expliquent d'une manière très-simple, si l'on regarde les muriates solides, ainsi qu'on les considère le plus généralement, comme des chlorures de métaux. Le T.

Tous les phosphates alkalins sont décomposés par le fer, parce qu'à un haut degré de chaleur, ils entrent en fusion avec le métal et se convertissent en scories. Si même on ajoute du charbon, le phosphure, au moment de sa formation, se vitrifie en partie avec l'oxide. Le fer décompose les phosphates métalliques, parce qu'il réduit leurs bases; il décompose les arséniates neutres, parce qu'il enlève à l'acide une partie de son oxigène, et qu'oxidé lui-même, il entre avec la base en vitrification; tandis que l'arsenic blanc se volatilise. Une petite dose d'arsenic reste dans le régule de fer qui est en excès, une autre se trouve à l'état d'oxide dans les scories.

DU FER OXIDÉ EN CONTACT AVEC D'AUTRES SUBSTANCES.

235. Nous avons parlé déjà de la manière dont le carbone se comporte à l'égard des oxides de fer : il les réduit; c'est, sous ce rapport, le réactif le plus puissant, c'est aussi le seul qui soit employé dans l'extraction de ce métal. Il paraîtrait qu'en l'ajoutant à l'oxide, en proportion convenable, on pourrait obtenir du fer pur; qu'en dose moins forte, il donnerait pour résultat, du fer pur et une partie de l'oxide qui n'aurait pas subi la réduction.

Ces principes ne s'appuient que sur la théorie; mais ils recevraient une pleine et entière confirmation par les expériences de Clouët, si effectivement ce métallurgiste avait obtenu du fer doux par une simple fusion de l'oxide avec l'acier. On conçoit néanmoins que, vu la grande affinité de ce métal pour le carbone, une très-faible dose de ce dernier, mise en contact

avec l'oxide, donne encore un fer carburé. La question ne pourra donc être tranchée que par des essais directs. D'ailleurs, pour réduire les minérais, on emploie toujours le charbon en excès; on ne peut donc obtenir que du fer carburé.

236. Les oxides de fer se réduisent aussi par l'action du soufre, mais ce dernier se combine toujours avec le métal. Traités avec le soufre dans des vaisseaux distillatoires, ils donnent des protosulfures, si l'on répète l'opération plusieurs fois, et qu'on élève la chaleur jusqu'au rouge. En poussant au commencement le feu avec trop de violence, on volatilise le soufre, et l'oxide entre en vitrification. Selon le degré de température employé, on obtient quelquefois aussi du sulfure scorifié avec l'oxide, en différentes proportions. Il paraît que dans cette opération, le sulfure et le protoxide se vitrifient ensemble sans exercer l'un sur l'autre aucune action décomposante. Le peroxide employé en forte dose, pourrait acidifier la majeure partie du soufre, qui s'échapperait à l'état de gaz acide sulfureux, et oxider en même temps le fer du sulfure, d'où il résulterait une vitrification générale.

Ces phénomènes s'expliquent par la grande affinité du fer pour l'oxigène et le soufre. Si donc on veut produire une décomposition, il faut que ces deux corps à l'état libre, soient mis en contact avec les sulfures ou les oxides de ce métal; mais alors, il se forme toujours une nouvelle combinaison, un protoxide dans le premier cas, et un sulfure dans l'autre.

Du peroxide de fer en poussière, chauffé doucement avec le soufre, de manière que le sulfure ne puisse se former, et soumis à ce degré de chaleur jusqu'à ce qu'on ne voie plus aucun dégagement d'a-

cide sulfureux, donne, d'après M. Berzélius, un composé de soufre et de protoxide, sous la forme d'une poudre brune, inflammable, sensible à l'aiguille aimantée, soluble dans les acides après une longue digestion, et déposant tout le soufre sans donner lieu à un développement d'acide hydrosulfurique, puisque le protoxide seul entre dans la dissolution.

Le peroxide mis dans un tube de porcelaine, décompose le sulfure de carbone qu'on fait passer dans le tube; il produit alors, d'après MM. Berzélius et Marcet, du sulfure de fer et un dégagement de gaz acide carbonique et d'acide sulfureux.

237. Le phosphore se comporte différemment avec l'oxide de fer. L'acide phosphorique qui se forme par la réduction, se combine, à cause de sa fixité, avec une partie de l'oxide, pendant que le phosphore, obéissant à son affinité pour le métal, le change en phosphure : tel est toujours le résultat, lorsqu'il y a excès ou quantité suffisante de ce corps inflammable; dans le cas contraire, une certaine portion d'oxide ne subit point de changement, et les autres produits restent les mêmes.

En considérant l'action du soufre sur le protoxide de fer, on pouvait conclure *à priori* que réduit par le phosphore, le fer formerait une nouvelle combinaison, d'autant plus que l'acide phosphorique ne pouvant s'échapper, doit se combiner avec l'oxide, et que le phosphore doué d'une grande affinité pour le fer, se porte sur le métal. Il ne s'ensuivrait cependant pas qu'il n'existe aucune action décomposante entre le phosphure et l'oxide, mais qu'il y aura toujours du phosphure de fer formé, lors même que la dose de phosphore sera très-faible. Voilà ce qui doit se passer

avec le protoxide. Pour le peroxide, il en est autrement : quelque fortes que soient les proportions du phosphore, il ne se formera pas de phosphure de fer ; on n'aura que du protophosphate qui pourra se trouver accompagné d'une certaine quantité d'oxide non réduit, si le phosphore est en faible dose.

Ces composés ont une grande tendance à se vitrifier ; aussi n'obtient-on jamais que des scories dans lesquelles il est difficile de reconnaître l'état de la combinaison du phosphore avec le fer et son oxide. Ces résultats sont modifiés d'ailleurs par le degré de température. Si au lieu d'employer une douce chaleur qui doit s'élever tout au plus jusqu'au rouge, on donne un coup de feu violent, le phosphore se volatilise, l'oxide se vitrifie, et les scories composées seulement d'oxide de fer, contiennent à peine une trace d'acide phosphorique. Le phosphure et l'oxide de fer ne peuvent se décomposer qu'à une forte chaleur ; mais disposés alors à se vitrifier, ils ne donnent que des scories phosphoreuses pour résultat.

238. Les circonstances qui accompagnent la réduction du fer par le carbone, diffèrent de celles que nous venons d'exposer, parce que le nouveau corps formé par le réactif et l'oxigène, est toujours à l'état de fluide élastique et qu'il se dégage. Si donc cet agent était en faible proportion par rapport à toute la masse, il devrait s'échapper en entier ; mais il n'en est pas ainsi. Au commencement de la réduction, il se forme entre le fer réduit et le réactif, une combinaison qui, d'après notre manière actuelle de voir, ne pourrait être détruite, que lorsqu'il n'y aurait plus assez de charbon pour l'entière désoxidation du métal.

Cependant l'expérience nous prouve que cette com-

binaison n'est jamais détruite entièrement : les fers carburés ou sulfurés ne peuvent perdre tout leur carbone ni tout leur soufre, lors même qu'ils sont traités avec un excès d'oxide. Il résulte de tout ceci, qu'en même temps que l'oxigène s'échappe à l'état de gaz acide carbonique, le fer réduit doit se combiner avec une certaine quantité de carbone dont, à la vérité, une forte partie lui est enlevée ensuite, lorsque les proportions du réactif sont devenues très-faibles par rapport à l'oxide.

239. Si le carbone, lors même qu'il est en faible proportion, se combine avec le métal, on ne peut être surpris que, dans le cas opposé, il se forme une semblable combinaison : elle a toujours lieu dans les essais et dans l'extraction du fer en grand, à moins de circonstances particulières. Il s'ensuit aussi que la fonte blanche composée de fer et de carbone, se forme d'abord, et que c'est elle qui, plus tard, donne naissance à la fonte grise.

240. Les métaux ne se combinent point avec les oxides, c'est une règle générale, mais ils forment des combinaisons entr'eux et avec leurs sulfures ou leurs phosphures, en se vitrifiant ensemble. La substance de ce genre la plus transparente, c'est le verre ordinaire, composé d'oxide de silicium et d'oxide de potassium ou de sodium.

Les scories sont colorées de différentes manières par le fer; ordinairement c'est en vert sale; leur couleur devient de plus en plus foncée, à mesure que la quantité d'oxide de fer augmente, jusqu'à ce qu'elle passe au noir : leur fusibilité gagne dans la même proportion. L'oxide de fer s'emploie pour colorer l'émail en noir, en rouge, en jaune ou en vert; mais alors on

le combine ordinairement avec d'autres oxides métalliques.

241. On n'a pas encore assez étudié la manière dont les oxides de fer se comportent avec les autres oxides, lorsque mêlés en différentes proportions, ils sont exposés à la chaleur de la fusion.

Les alkalis ont la propriété de se vitrifier avec le protoxide de fer ; mais on ignore si cette combinaison exige un très-fort degré de chaleur. Il existe quelques expériences d'Achard, de Kirwan et de Lampadius sur la vitrification du fer oxidé avec les bases terreuses et plusieurs autres oxides métalliques. D'après la manière dont le peroxide se comporte à la chaleur de la fusion (126), on devrait penser qu'il est indifférent d'employer l'un ou l'autre oxide pour ces sortes d'essais; mais ne sachant pas comment l'oxigène libre agit à l'égard des autres oxides, on doit s'en référer entièrement à l'expérience.

Pour que la vitrification d'un mélange d'oxides soit complète, il faut que le degré de température soit d'autant plus élevé que les terres sont en plus forte proportion. Prises isolément, elles ne font que se durcir au lieu de se liquéfier; deux à deux même, elles entrent difficilement en fusion; ce n'est qu'assorties au moins trois à trois et soumises à l'action d'une forte chaleur, qu'elles se fondent en un verre parfait.

242. La nature nous offre le fer oxidé, soit pur, soit combiné avec d'autres oxides métalliques, avec du soufre, et particulièrement avec les oxides de plusieurs métaux terreux, dans un état de combinaison tel que l'art ne peut l'imiter. Obtenus dans nos laboratoires, ces composés sont toujours en masses vi-

trifiées; extraits du sein de la terre, ils possèdent un éclat métallique ou ils présentent l'aspect terreux.

Ne connaissant point les forces et les moyens employés par la nature, nous ne pouvons regarder comme identiques les corps qui, par l'analyse, donnent les mêmes résultats. Le peroxide nous offre à ce sujet un exemple remarquable; on le trouve à l'état de fer oligiste, et à l'état d'oxide rouge; bien que par leur aspect extérieur, comme par leur manière de se comporter au feu, ces minérais aient entre eux peu de ressemblance *.

RÉSUMÉ DE CE QUI A ÉTÉ DIT SUR LA COMBINAISON DU CARBONE AVEC LE FER.

243. Si maintenant, nous reportons nos regards en arrière (123—242), nous reconnaîtrons au fer la faculté de s'unir à presque toutes les autres substances. Il ne peut jamais être mis en œuvre tel que la nature nous le présente. Dans son état de plus grande pureté on le trouve combiné avec l'oxigène; et le plus souvent, ses oxides sont unis encore à d'autres oxides, des terres, de l'acide phosphorique, de l'acide carbonique et de l'eau, ou bien ils sont si intimement mélangés avec des sulfures de fer, des sulfates terreux (le gypse, le spath pesant) qu'on ne peut en retirer le métal à l'aide d'une simple opération mécanique. Il faut donc le réduire au feu, et il n'existe qu'un seul

* C'est en vertu d'une union plus ou moins intime des molécules composantes, que le même corps peut présenter les variations les plus fortes, non-seulement dans son aspect extérieur, mais encore dans ses propriétés chimiques.

Le T.

réactif qui puisse remplir cet objet, c'est le carbone; mais celui-ci réduit aussi tous les autres corps oxidés dont les radicaux se combinent de nouveau avec le fer et en modifient les propriétés.

244. On ne peut donc extraire le fer de ses minérais, sans lui fournir l'occasion de s'unir à d'autres corps, et sur-tout au réactif employé dans l'opération. Si l'on ne pouvait en séparer ce réactif, le fer ne serait connu qu'à l'état de fonte; mais le même corps, l'oxigène enlevé d'abord par le carbone, enlève ce dernier à son tour. C'est un effet réciproque de la forte attraction qui règne entre le fluide élastique et le combustible. Cependant l'intimité de la combinaison du métal avec le carbone, s'oppose à une séparation complète. D'un autre côté, en cédant ce dernier à l'oxigène, le fer obéit à sa première affinité et s'oxide en partie, lorsque le courant d'air est assez considérable : une forte proportion de carbone contenue dans le métal augmente les difficultés et l'oxidation. Le graphite ne pourrait même être décomposé sans que le fer qu'il renferme s'oxidât entièrement. L'attraction du carbone pour l'oxigène est plus forte que pour le métal; mais cette affinité ne peut avoir tout son effet, que par suite d'une entière oxidation du fer contenu dans la plombagine *.

---

* Ces raisonnemens et ceux qu'on trouvera dans quelques autres paragraphes, ont besoin d'être modifiés, d'après les nouvelles expériences de M. Karsten, consignées dans le Mémoire qui est à la fin de ce volume. L'auteur conclut de ces expériences :

1°. Que la fonte blanche et l'acier trempé contiennent le carbone combiné avec toute la masse du fer (§§. 25, 26 et 30 du Mémoire).

2°. Que la fonte blanche lamelleuse présente une combinaison

245. Le carbone combiné dans toute la masse de la fonte blanche y est retenu plus fortement que dans la fonte grise. Il s'ensuit qu'exposée à l'action de l'oxi-

---

parfaite du fer avec le carbone, en proportions déterminées (§. 39 du Mémoire), et qu'elle est toujours plus riche en carbone que la grise ; ce qui d'ailleurs est parfaitement d'accord avec ce que nous avons déjà vu aux paragraphes 142 et 143.

3°. Que le fer et l'acier non trempé contiennent le carbone à l'état de carbure (*polycarbure*) (§§. 21, 22 et 29 du Mémoire).

4°. Que la fonte grise froide contient la majeure partie de son carbone à l'état de graphite et de mélange ; que ce graphite ne renferme point de fer, et qu'il constitue le carbone dans toute sa pureté.

5°. Que le reste du carbone que renferme la fonte grise peut s'y trouver ou combiné avec toute la masse, ou formant un carbure à proportions définies, et qui est dissous ensuite dans le métal comme il l'est dans le fer ductile et l'acier (§§. 27, 28, 29, 30 et 40).

6°. Que tous les fers carburés considérés à l'état liquide, contiennent le carbone dissous dans la masse du métal sans proportions définies (§§. 19 et 32).

7°. Enfin que le graphite se sépare du métal au moment de la congélation ; et que les autres carbures de fer, s'il en existe plusieurs, se forment plus tard (§§. 32 et 33).

Il est fâcheux que M. Karsten n'ait point encore appliqué les résultats de ses nouvelles expériences à la théorie sur le traitement des minérais et sur l'affinage de la fonte, ainsi qu'il se propose de le faire dans un autre Mémoire que nous nous empresserons de publier en français. Nous n'avons pu entreprendre un semblable travail nous-même, parce que les principes que l'auteur a déduits de ses récentes découvertes, nous paraissent devoir être modifiés encore (Voyez la note ajoutée au paragraphe 32 du mémoire). Nous nous proposons toutefois de rectifier dans le cours de cet ouvrage, tous les raisonnemens de l'auteur, lorsqu'ils sont en opposition avec *les faits* énoncés dans le mémoire précité.

Ce qu'on dit au paragraphe 244, du graphite que nous reconnaissons maintenant pour du carbone pur, mélangé, à l'état métallique, dans la masse du fer, ne peut s'appliquer qu'au sextocarbure (§§. 27 et 29 du Mémoire). Si la fonte grise, le seul de tous les fers crus qui contienne du graphite, s'affine difficilement, il faut l'attribuer sur-tout à son extrême liquidité. Le T.

gène libre affluant en grande quantité, la première doit s'oxider davantage, parce que l'oxidation de la fonte grise se borne presqu'à celle du fer contenu dans le carbure. C'est ce qui a lieu lorsque le courant d'air agit immédiatement sur le fer cru liquide. Mais grillée seulement et soumise à une douce influence de l'oxigène, la fonte blanche perd une partie de son carbone sans trop s'oxider (117), car le fer étant combiné en grande masse avec une petite dose de ce corps, celui-ci ne peut retenir le métal assez fortement pour l'entraîner dans sa propre combustion*.

Dans la fonte grise, le carbone uni à une petite quantité de fer, retient ce dernier avec tant de force, que le métal doit éprouver le même changement que ce combustible; d'où il résulte, que le grillage détruit la ténacité de la fonte grise, parce qu'elle ne peut perdre son carbone sans que le fer du graphite soit complètement oxidé **.

L'une et l'autre espèce de fer cru liquéfiée avec une

---

* L'oxigène a plus d'attraction pour le carbone que pour le fer. Si cependant il arrivait en grande quantité, l'oxidation s'étendrait à l'un et à l'autre corps; en petite dose, il se porte de préférence sur le carbone.

Le T.

** Le grillage n'affaiblit la ténacité de la fonte grise que s'il est effectué hors du contact de l'air; parce que le carbone interposé entre les particules du fer en est absorbé alors, et s'unit à toute la masse du métal. Si l'on grille cette fonte à l'air, elle subit un changement moins considérable que la fonte blanche, mais elle devient plus tenace qu'elle ne l'était avant l'opération. Nous avons fait, à ce sujet, un grand nombre d'expériences en 1820, dans les forges d'Hayange : les barres grillées ont toutes supporté, avant de se rompre, de plus forts poids que les barres non grillées.

Le T.

dose convenable d'oxide, devrait donner du fer ductile ; mais la fonte blanche, dont le carbone est retenu avec plus d'énergie, subit une plus faible modification que la fonte grise, dont le carbone renfermé dans le graphite est plus susceptible d'entrer en combinaison avec l'oxigène *.

246. Une chose bien remarquable, c'est le changement de la fonte blanche en fonte grise par une très-haute température, et réciproquement, celui de la fonte grise en fonte blanche par un prompt refroidissement. Le fer réduit à l'aide du carbone, forme avec ce réactif une combinaison qui ne peut être détruite par aucun autre agent que l'oxigène, mais qui, à la plus forte chaleur, se modifie d'elle-même et donne naissance au graphite. Comment ce changement peut-il s'opérer ? est-il l'effet d'un certain état électrique qui dispose le fer à la cristallisation ? c'est ce qu'on ignore entièrement.

La fonte blanche qui contient du manganèse, du phosphore et du soufre, se convertit difficilement en

* Si la fonte grise liquide contient du carbone à l'état de mélange, elle doit subir, par une addition de scories non vitrifiées, un changement plus considérable que n'en éprouve la fonte blanche qui ne renferme point de carbone libre (Voyez la note que nous avons ajoutée au paragraphe 32 du Mémoire). Il ne faut pas croire cependant, que la fonte blanche, contenant tout son carbone à l'état de combinaison, se change, au feu d'affinerie, avec plus de lenteur en fer ductile : il en est tout autrement, comme on le verra par la suite. Qu'il nous suffise à présent de faire observer que la promptitude de l'affinage dépend non-seulement du jeu des affinités entre le carbone, l'oxigène et le fer, mais particulièrement aussi de la fusibilité du régule et de la liquidité de la masse fondue : plus elle est liquide, moins elle donne de prise au vent ; et plus elle s'affine lentement, lorsqu'elle n'est soumise qu'à l'action du courant d'air.

Le T.

fonte grise; cette particularité nous prouve que les corps en question constituent une espèce de liaison entre le carbone et le fer. Quand le lien est rompu par la formation du graphite, ils doivent ou effectuer avec le métal une nouvelle combinaison, ou l'abandonner, si leur union n'est due qu'à la présence du carbone; mais ceci ne s'appliquerait qu'à certains métaux terreux et ne pourrait concerner le manganèse, ni le phosphore, ni le soufre. Cependant ces substances sont en plus faible dose dans la fonte grise que dans la fonte blanche : il existe donc une cause qui les en a séparées, et ce ne peut être que l'action de l'oxigène. Il est probable qu'avant d'être soumise à l'influence de l'air, la première contient autant de métaux terreux, de manganèse, de phosphore et de soufre que la fonte blanche provenant des mêmes minérais; qu'en passant devant la tuyère, le carbone de la fonte blanche garantit ces matières étrangères de l'oxidation, tandis que le graphite de la fonte grise ne leur présente pas une si forte protection contre l'influence du vent. D'ailleurs, l'action de la chaleur et celle du carbone peuvent chasser déjà une certaine quantité de bases volatiles, de métaux terreux, de soufre et de phosphore; mais l'épuration devient plus complète, si la fonte grise est exposée ensuite au courant d'air *.

247. La fonte grise contient donc moins de matières étrangères que la fonte blanche qui provient des mêmes minérais et qu'on obtient à une plus faible

---

* Il paraît que le soufre a plus d'affinité pour le fer, l'acier et la fonte blanche, que pour la grise, puisqu'en très-petite dose il blanchit cette dernière. Il est donc de la plus haute importance qu'on traite toujours les minérais pyriteux, pour fonte grise.

Le T.

chaleur; mais ce régule, sur-tout, lorsque les minérais qui le produisent sont accompagnés de phosphore et de soufre, ne doit pas être confondu avec la fonte blanche naturelle donnée par les minérais manganésifères; celle-ci est aussi pure que la meilleure fonte grise et n'en diffère que par le mode de combinaison du carbone; mais il résulte de la différence entre ces modes de combinaison, une bien grande différence entre les propriétés de ces deux espèces de fer cru. La fonte blanche naturelle qu'on obtiendrait à un faible degré de chaleur ne serait pas meilleure que l'autre fonte blanche, si les minérais manganésifères contenaient des matières nuisibles à la qualité du fer, et si la nature ne les produisait pas dans un état de pureté tout particulier.

248. Il est donc bien difficile de prononcer sur la qualité du fer cru, lorsqu'on ne connaît pas le minérai dont il provient. La fonte blanche non manganésifère, obtenue à un faible degré de chaleur, est en général la plus mauvaise : cependant elle pourrait être aussi pure que l'autre, si le minérai dont elle est extraite n'était point souillé de matières étrangères.

La bonne fonte blanche est-elle meilleure que la bonne fonte grise? la solution de cette question dépend et de l'usage qu'on en fait, et des procédés qu'on suit pour l'affiner *. Nous avons vu que la fonte blanche devient plutôt malléable que la grise; mais qu'elle subit aussi un plus fort déchet, lorsque l'oxigène agit sur la fonte liquide; que par le grillage, on peut lui enlever une

* On verra par la suite que, toutes choses égales d'ailleurs, la bonne fonte blanche est préférable à l'autre, parce qu'elle s'affine plus facilement.

Le T.

partie de son carbone, changer sa texture et lui communiquer un certain degré de malléabilité ; ce qui n'a pas lieu pour l'autre. Sans être plus pure, elle a donc sur la deuxième un avantage marqué.

249. Le grillage ne peut produire qu'un mauvais effet sur la fonte blanche chargée de substances étrangères; parce que ces dernières, au lieu de se dégager comme le carbone, restent dans la masse, et que pour les en séparer ensuite, on serait obligé de retarder l'affinage ou la combustion du carbone, afin de conserver au métal un certain degré de fluidité : on ne ferait donc qu'augmenter les difficultés. La présence du soufre pourrait autoriser un grillage *préalable ;* cependant on ferait mieux alors d'élever la chaleur du haut fourneau pour obtenir toujours de la fonte grise.

250. Il est avantageux de blanchir la fonte par un refroidissement subit, d'en faire des *blettes* qu'on grille ensuite pour leur enlever une certaine quantité de carbone. L'avantage de ce procédé, sous le rapport économique, ne dépend que des localités. On devrait l'employer toujours dans des contrées où la houille est à bas prix. Si la nature des minérais exige qu'ils soient traités pour fonte grise, on opère ainsi, et l'on effectue le grillage dans les fours à reverbère.

251. La fonte blanche, l'acier et le fer ne différant entre eux que par la quantité de carbone qu'ils contiennent, il ne s'agit que d'en brûler une certaine partie pour changer cette fonte en acier ou en fer ductile *. Le grillage seul, ne conduirait à ce but qu'a-

---

* La fonte blanche, considérée à l'état solide, diffère essentiellement du fer et de l'acier, puisqu'elle contient le carbone uni à toute la masse du métal, tandis que ceux-ci ne le contiennent

vec lenteur et d'une manière imparfaite : on est donc obligé de refondre le fer cru et de le soumettre en même temps à l'action de l'oxigène. Les moyens employés à cet effet constituent ce qu'on appelle l'affinage de la fonte ou sa conversion soit en acier, soit en fer ductile. Le grillage abrége cette opération; mais il ne convient que pour la fonte blanche : non grillée, elle produit ordinairement de l'acier ; grillée, elle se change en fer ductile. La fonte grise est plus disposée à donner le fer que l'acier ; cependant la nature du résultat dépend sur-tout de la manipulation et de l'adresse des ouvriers. On convertit l'une et l'autre espèce de fonte en fer et en acier; mais on n'en retire pas les mêmes bénéfices.

252. La nature et la qualité des produits dépend donc, non seulement du travail, mais aussi des minérais et du combustible considéré comme réactif. Il faut par conséquent étudier ces matières premières, avant d'entrer dans le détail des constructions et des manipulations.

---

qu'à l'état de carbure de fer (21 et 22 du Mémoire). L'affinage en est très-rapide, probablement parce qu'elle ne devient pas bien liquide dans les feux d'affinerie. D'ailleurs la fonte renferme aussi des matières étrangères qui pourtant n'établissent qu'une différence accidentelle entre le régule et l'acier. Son caractère distinctif n'est dû qu'au carbone; il n'est pas moins vrai que le but de l'affinage est d'éloigner non-seulement l'excès de carbone, mais aussi les substances nuisibles à la qualité du produit.

Le T.

DEUXIÈME SECTION.

DES MATIÈRES PREMIÈRES

EMPLOYÉES POUR L'EXTRACTION DU FER.

PREMIÈRE DIVISION.

DES MINÉRAIS DE FER.

253. Le sidérurgiste appelle minérais de fer les substances minérales, que, dans les opérations en grand, il peut employer avec avantage pour en retirer le fer qu'elles contiennent. Toutes les autres, quelle que soit même leur richesse en fer, ne méritent point ce nom sous le rapport métallurgique.

254. *L'existence du fer natif* est encore un objet de contestation parmi les minéralogistes *. Au reste, il ne présente aucun intérêt dans la pratique de la sidérurgie, à cause de son extrême rareté. M. Klaproth a établi une différence remarquable entre le fer natif

* L'existence du fer natif ne laisse plus aucun doute; on le trouve en Amérique, principalement au Brésil, en feuilles minces dans des masses de fer oligiste. Voyage dans l'intérieur du Brésil. Annales des Mines, tome 2, page 230 et suivantes.

Le T.

et le fer météorique; ce dernier contient toujours du nikel, et le premier n'en donne jamais une trace.

255. Le fer à l'état métallique se trouve assez fréquemment dans la nature, mais il est toujours uni au soufre ou à l'arsenic, qui ne peuvent en être séparés par les opérations en grand; c'est pour cette raison que le sidérurgiste ne peut alors le considérer comme un minérai de fer.

256. *Les sulfures naturels*, quant à leurs proportions, ressemblent parfaitement à ceux qui sont formés dans nos laboratoires (147 — 152). La pyrite magnétique est un protosulfure; la pyrite commune ou cubique avec toutes ses variétés constitue le persulfure de fer. L'une et l'autre combinaisons ne peuvent être entièrement détruites dans les températures élevées que par la présence de l'air atmosphérique. Le résultat de l'opération est du protoxide de fer et du gaz acide sulfureux qui se dégage. Hors du contact de l'eau, on ne peut obtenir de l'acide sulfurique, et le sulfure ne peut décomposer l'eau sans le contact de l'air. Il s'ensuit que la formation du protosulfate avec le protosulfure de fer, ne peut avoir lieu qu'à un certain degré de température, en présence de l'eau et de l'air atmosphérique.

Il est difficile d'expliquer d'une manière satisfaisante, l'efflorescence des protosulfures exposés à l'air. Ce n'est point un effet de la décomposition de l'eau, parce qu'il se formerait immédiatement de l'acide sulfurique; tandis qu'ils paraissent donner d'abord du protosulfite, qui bientôt, à mesure que la température s'élève, passe à l'état de protosulfate. En calcinant les pyrites pour la fabrication de l'huile de vitriol, on perd une partie de soufre qui se dégage en na-

ture, et une autre qui s'échappe à l'état de gaz acide sulfureux : on tâche de diminuer les pertes en arrosant les sulfures avec de l'eau, et en modérant la chaleur.

257. Bien qu'on puisse enlever au fer tout le soufre qu'il retient, cependant il est difficile d'en séparer les dernières parties. C'est aussi pour cette raison que la calcination des pyrites donne toujours un peroxide de fer, attendu que le protoxide passe au maximum d'oxidation, avant que tout le soufre ait pu se dégager à l'état de gaz acide sulfureux. Si la température est assez élevée pour que le peroxide puisse se changer en protoxide, son oxigène, en se portant sur le soufre, accélère cette opération. Du reste, on doit d'abord réduire le sulfure en très-petits morceaux, et renouveler fréquemment la surface de la masse, afin de multiplier le contact de l'air. Si la chaleur était poussée encore à un plus haut degré, le sulfure entrerait en fusion; l'oxigène n'agirait alors que sur la surface du bain, au lieu d'être en contact avec les petits morceaux de soufre; ce qui en ralentirait l'oxidation.

258. La possibilité de réduire les sulfures et d'en extraire un fer non rouverin ne peut être mise en doute; mais les dépenses considérables qu'occasionnerait la multiplicité des grillages, seraient hors de proportion avec le prix du métal. C'est pour cette raison que les pyrites ne sont point classées parmi les minérais de fer. Quand elles les accompagnent, ce qui n'arrive que trop fréquemment, on a recours au grillage. En grande quantité, elles en occasionnent le rebut.

259. *Les mines de fer* et *d'argent arsenical* ne sont point traitées pour fer, parce qu'il faudrait les griller et les pulvériser d'abord; ce qui ferait naître une nouvelle difficulté, car les *schlichs* en poussière se rédui-

sent difficilement dans les hauts fourneaux; ils sont trop disposés à se convertir en scories. Ajoutons qu'il est presqu'impossible de chasser tout l'arsenic au moyen du grillage. Cependant une faible dose contenue dans la fonte ne serait pas nuisible. On pourrait donc, à la rigueur, traiter les schlichs dans les hauts fourneaux, si les circonstances locales n'y mettaient point d'obstacle.

260. Il paraît que l'arsenic ne se dégage pas entièrement par la sublimation, qu'une partie résiste même à la chaleur de la fusion et ne peut être séparée du fer que par une oxidation simultanée des deux métaux.

261. Les chimistes n'ont pu s'accorder encore sur la composition du fer arsenical. M. Lampadius la fixe, pour le minérai de Freyberg, à 42,1 d'arsenic et 57,9 de fer. Tous les autres y ont trouvé du soufre. M. Proust dit expressément que ce minéral est formé par une dissolution de persulfure de fer dans l'arsenic, sans que celui-ci soit combiné avec le soufre. M. Thomson (dans son système de chimie) porte la composition à 48,1 d'arsenic, 36,5 de fer et 15,4 de soufre. M. Chevreul la fixe à 43,418 d'arsenic, 34,938 de fer et 20,132 de soufre; il affirme que c'est une combinaison d'arsenic avec le protosulfure de fer, parce que le fer et le soufre y sont dans les mêmes proportions que dans la pyrite magnétique.

M. Stromeyer à qui nous devons une analyse très-exacte de ce minèral, y a trouvé 42,88 d'arsenic, 36,04 de fer et 21,08 de soufre. Il pense avec M. Proust, que ce minéral est un composé de persulfure et d'arsenic de fer; en admettant que dans le persulfure, 100 parties de métal soient combinées avec 116 de soufre, il trouve que le fer arsenical de Freyberg est composé de 39,17

de persulfure et de 60,83 d'arséniure de fer. D'où l'on peut tirer cette belle conclusion, si toutefois, de nouvelles expériences viennent encore à l'appui de ces faits : que le soufre et l'arsenic se sont partagé le fer par moitié ; car, dans 37,17 de persulfure, il y a 18,14 de fer, et dans 60,83 d'arséniure, il y en a 17,95 combiné avec 42,88 d'arsenic. La petite différence de 0,19, qui provient peut-être de ce que M. Stromeyer admet une trop forte proportion de fer dans le persulfure, disparaîtrait entièrement, si le rapport entre les composans, était selon l'opinion la plus suivie de 100 à 117.

Si donc, il existait du fer arsenical non-pyriteux, il devrait être composé, d'après les expériences de M. Stromeyer, de 70,49 d'arsenic et de 20,51 de fer *. Ce qui appuie cette assertion, c'est qu'à Reichenstein, on compte, en traitant les schlichs les plus purs, sur 50 pour cent d'arsenic métallique, et sur 25 pour cent d'arsenic gris ou sous-oxide. Les essais que j'ai faits sur le fer arsenical de Reichenstein, ne m'ont laissé aucun doute sur l'existence de deux espèces de minérais de cette nature : l'un contient du soufre selon les proportions indiquées par M. Stromeyer, l'autre, qui en est dépourvu, donne de 65 à 70 d'arsenic. Ce dernier a été examiné depuis peu par M. Klaproth ; il y a trouvé 38 de fer et 62 d'arsenic, et une trace de soufre retenu accidentellement dans la masse.

262. C'est à *l'état d'oxide* que le fer se rencontre le plus abondamment. Il n'est pas encore bien décidé

---

* Le fer pourrait se combiner aussi avec l'arsenic en plusieurs proportions constantes.

Le T.

s'il existe dans la nature un protoxide parfaitement pur ; mais on peut le supposer, parce que certains minérais donnent dans les essais 76 pour cent de fer, et que le protoxide est composé de 77,22 de métal, et de 22,78 d'oxigène : la perte ne serait donc que de 1,22, quantité qui est assez faible pour qu'on puisse l'attribuer soit à l'inexactitude de l'opération, soit à un mélange accidentel de corps étrangers. En minéralogie on appelle *fer magnétique*, non-seulement le protoxide dont nous venons de parler, mais aussi tous les autres composés de peroxide et de protoxide qui agissent sur l'aiguille aimantée *.

263. On connaît à présent deux combinaisons de protoxide et de peroxide de fer. Dans l'une formée de 74,1 de fer et 25,9 d'oxigène, les deux oxides sont en proportion telle que leur oxigène est égal de part et d'autre, et que le protoxide contient une fois et demie le fer du peroxide : voici sa composition,

	oxigène.	fer.
Peroxide. . . .	12,95	29,4
Protoxide . . .	12,95	44,7
Totaux. . . .	25,90	74,1

Dans l'autre minérai, le peroxide contient trois fois l'oxigène et deux fois le fer du protoxide. Il est composé ainsi qu'il suit :

	oxigène.	fer.
Peroxide. . . .	21,15	47,9
Protoxide . . .	7,05	23,9
Totaux. . . .	28,2	71,8

* Il en est cependant qui exercent une faible action sur l'aiguille aimantée et qui ne peuvent être compris au nombre des fers maguétiques. Le T.

264. *Le fer magnétique* est communément accompagné de quartz, de grenat, de hornblende, de spath-calcaire, de spathfluor et d'asbeste. Ces substances en modifient la fusibilité de diverses manières. On le grille presque toujours à cause du sulfure de fer, bien qu'il ne le contienne qu'en petite quantité; souvent il est accompagné aussi de blende, de galène et de fer arsenical.

265. *Le fer micacé* nous présente ce métal à son maximum d'oxidation; il est caractérisé par une raclure rouge de sang. Le fer spéculaire en morceaux compactes, et non mélangé de substances étrangères, contient 69,34 de fer et 30,66 d'oxigène. Sous le rapport de sa composition, il se rapproche donc de la deuxième espèce du fer magnétique: ordinairement il est accompagné de quartz, et quelquefois d'oxide de manganèse.

266. Les fers magnétiques et spéculaires se trouvent abondamment en Suède, en Norwége, en Russie (dans la chaîne des Ourals). Le fer spéculaire se rencontre aussi en Italie, à l'île d'Elbe et dans les Pyrénées; il est assez rare en Allemagne. L'Angleterre en est entièrement dépourvue. La Prusse et l'Autriche sont presque dans le même cas *.

267. *L'hématite rouge*, ou l'oxide rouge le plus pur sous le rapport de sa composition, ne diffère point du fer spéculaire. Celui-ci étant plus dur et plus compacte prend l'aspect métallique, tandis que le premier possède un éclat soyeux. Les transitions de l'un à l'autre sont si imperceptibles que le minéralogiste est souvent embarrassé pour les classer dans l'une ou l'autre espèce.

---

* On le trouve en France, à Framont et au Mont-d'Or. Le T.

268. *La mine de fer rouge* est en général imprégnée de quartz, de cailloux ferrugineux, de hornstein (petrosilex), de jaspe, de feldspath, ou d'autres fossiles argileux ou quartzeux, dont il est impossible de la séparer par une préparation mécanique, et qui peuvent la rendre extrêmement réfractaire. En géognosie, on la considère comme moins ancienne que le fer spéculaire. Il paraîtrait donc qu'elle doit son origine à ce dernier qui, par l'influence de l'air, a perdu sa dureté, sans avoir éprouvé d'autre modification dans ses parties constituantes. Les pyrites se rencontrent assez rarement avec l'oxide rouge; mais le traitement de ce minérai devient quelquefois impossible, par suite de la présence du sulfate de baryte.

269. L'oxide rouge se trouve presque toujours combiné avec des terres, sans perdre son caractère essentiel, la couleur rouge; il peut en contenir une si grande quantité qu'il ne forme plus alors qu'une transition entre les substances métalliques et les matières terreuses. Une augmentation de silice et d'alumine le fait passer au jaspe; une addition de silice seulement, le rapprocherait du caillou ferrugineux et de l'opale; enfin une plus forte dose d'alumine le changerait en fer argileux ou en argile schisteuse.

270. Les hydrates, qui sont des composés divers d'oxide rouge et d'eau, présentent un phénomène bien remarquable, en ce que le peroxide dans ce minérai perd son caractère essentiel, la couleur rouge. On ne connaît point d'hydrate naturel entièrement pur; tous les peroxides colorés en jaune par l'eau, contiennent toujours de l'alumine et de la silice; ils reprennent leur couleur en abandonnant ce liquide dans les températures élevées. Le jaspe opale constitue, d'a-

près les expériences de M. Klaproth, une semblable combinaison triple de 43,5 de silice, 7,5 d'eau et 47 de peroxide de fer; mais ces proportions ne sont pas constantes. Une petite quantité d'alumine diminue l'éclat du minéral et lui donne un aspect terreux. Dans plusieurs contrées, particulièrement en Hongrie, on fond des minérais qu'on serait tenté de ranger plutôt parmi les différentes variétés de l'opale, que parmi les fers oxidés.

271. Si, combiné avec l'eau, le peroxide se présentait dans un état de pureté parfaite, il est probable que les proportions entre les composans seraient constantes et dans un rapport tel, que l'oxigène de l'eau serait la moitié de celui de l'oxide; mais ces proportions sont modifiées à l'infini par la présence des terres, qui elles-mêmes, ne sont que des hydrates, et qui sont contenues dans le minérai en dose très-variable. Le fer hydraté naturel ressemble, du reste, à l'hydrate factice, qui, par la dessication, passe du jaune d'ocre au brun de bistre, et même au brun noirâtre, en acquérant plus de dureté, et plus d'éclat dans la cassure. Une grande partie des minérais dits fers bruns, ne sont que des composés d'oxide, d'eau et de terres, en un mot des hydrates qui, en raison de leur densité, affectent la couleur brune.

272. *Les fers bruns* véritables sont des composés de peroxide de fer, d'oxide de manganèse et d'eau. Leurs propriétés et leur aspect sont modifiés par la présence des terres. L'hématite constitue dans cette espèce, le minérai le plus pur: sa couleur est brune et sa raclure jaune. Exposé au feu, il ne doit pas devenir rouge, car alors ce ne serait qu'un hydrate compacte (271); il reste d'autant plus brun qu'il contient plus d'oxide de manganèse.

273. Le manganèse, en très-forte dose, peut même rendre ce minérai entièrement noir; ce qui a déterminé plusieurs naturalistes à admettre une *hématite noire*. Ces deux espèces se présentent toujours ensemble; elles sont accompagnées de spath calcaire, de quartz; quelquefois aussi de sulfate de baryte, et plus souvent encore de pyrites.

274. Nous avons considéré jusqu'à présent les minérais de fer à l'état d'oxides et combinés avec l'eau et l'oxide noir de manganèse; mais les oxides de fer se rencontrent aussi dans la nature, combinés avec les acides, phosphorique, sulfurique, arsenique et carbonique.

275. *Les fers limoneux* et toutes leurs variétés, ainsi que le *fer terreux bleu* qui les accompagne presque toujours, contiennent le fer oxidé à l'état de combinaison avec l'acide phosphorique. Le dernier de ces minérais paraît être composé de fer et de protophosphate de fer; bien que, dans certains cas, il puisse ne contenir que du protophosphate, comme le fer terreux bleu d'Eckartsberg, qui est blanc dans son gîte, qui ne bleuit qu'en séjournant à l'air atmosphérique, et dont M. Klaproth a fait l'analyse.

276. Ces minérais sont composés en proportions variables de peroxide de fer, d'eau et de perphosphate de fer et de manganèse. Celui-ci et l'acide phosphorique, lorsqu'ils prédominent, en augmentent l'éclat et la dureté, et leur font donner le nom de *limonit* ou même de *phosphate de manganèse*.

Analysé par M. Vauquelin, ce dernier lui a fourni :

Oxide de manganèse............	42
Oxide de fer......................	31
Acide phosphorique............	27

Ces résultats méritent d'être confirmés par de nouvelles expériences : Il n'est pas impossible que l'eau renfermée dans cette substance ait échappé à la sagacité du chimiste.

En pratiquant l'art des forges, on doit connaître ce minérai pour le rejeter, parce qu'il produit un fer cassant à froid au plus haut degré.

277. Le fer limoneux, composé de phosphate de fer, d'oxide, et d'autres substances, ne constitue pas un sel neutre, et doit donc varier dans sa composition. C'est à l'influence du phosphate que l'on peut attribuer la fragilité des fers, désignés sous le nom de fers tendres ou cassans à froid. Analysée par M. Klaproth, *la mine des prairies* lui a donné, outre l'oxide de fer, 1,5 d'oxide de manganèse, 8 d'acide phosphorique et 23 d'eau. Une cassure conchoïde, un éclat résineux, une couleur noire et une raclure jaune sont les caractères qui la distinguent, lorsqu'elle n'est point altérée par les substances terreuses.

Il arrive aussi que le phosphate de fer, combiné avec les oxides de ce métal et des terres, se trouve dans les fers argileux ; on le reconnaît alors difficilement. M. Vauquelin a trouvé dans le minérai des prairies, outre le fer et le manganèse, du chrôme, de la magnésie, de la silice, de l'alumine et de la chaux.

278. Ce minérai, souillé ordinairement de sable quartzeux, ne se rencontre, avec son caractère essentiel que dans les terrains de dernière formation, il existe peu de contrées qui en soient dépourvues. Le grillage ne peut en améliorer la qualité. Fondu en contact avec le charbon, le phosphate se change en phosphure et se combine avec toute la masse du métal, qu'il rend cassant à froid, lors même que le phosphore est en

très-faible quantité. On ne peut donc corriger le vice de ces minérais par une opération préparatoire.

279. *La mine de fer pisiforme* ou *résinite* nous présente ce métal à l'état de sous-sulfate, composé, d'après M. Klaproth, de

Peroxide de fer....................	67
Acide sulfurique..................	8
Eau....................................	25

Il me paraît assez probable que le sous-sulfate se rencontre assez souvent dans les minérais ocreux des terrains de formation nouvelle, et qu'on n'y a pas fait attention jusqu'à présent, parce qu'on n'était point habitué à voir figurer l'acide sulfurique dans la composition des minérais de fer. Une calcination soutenue le chasserait entièrement; mais on n'en doit pas craindre une légère quantité.

280. *La mine de fer cubique* contient, d'après M. Vauquelin, 48 de peroxide de fer, 18 d'acide d'arsenic et 32 d'eau. Elle est si rare que dans les cabinets minéralogiques, on la compte encore parmi les objets de curiosité.

281. *Le fer spatique*, composé de protoxide de fer et d'acide carbonique, est d'une haute importance dans la sidérurgie. Il est probable qu'on ne l'a jamais dans un état de pureté parfaite. On le trouve toujours uni au carbonate et à l'oxide de manganèse, à la chaux, à l'argile, à la magnésie, à l'oxide de fer. Souvent plusieurs de ces substances s'y trouvent réunies à la fois; si l'une ou l'autre y prédomine, son caractère essentiel disparaît, et il peut ressembler alors à la mine de manganèse rouge, au fer argileux, au spath brunissant et au fer brun.

282. Lorsqu'il est parfaitement pur, le fer spathique ne se compose que de protoxide de fer, de protoxide de manganèse * et d'acide carbonique; sa couleur est alors le jaune pâle. Un semblable échantillon venant de Neuendorf, près de Hartzgerode, analysé par M. Bucholz, lui donna :

Protoxide de fer..................	55
Protoxide de manganèse.......	10
Acide carbonique...............	35

Il en existe aussi qui contiennent une petite quantité de terre. Voici les analyses de trois échantillons de cette espèce :

LIEUX d'où ILS PROVIENNENT.	COULEURS.	PROTOXIDE		ACIDE carbonique.	MAGNÉSIE.	CHAUX.	EAU.	NOMS des Chimistes auxquels on doit ces analyses.
		de fer.	de mangan.					
DANKERODE dans le Halberstadt. . .	Jaune isabelle. .	57,5	3,5	36	» »	1,25	»	KLAPROTH.
BAIREUTH.	Brun rougeâtre.	58,»	4,25	35	0,75	0,50	»	Id.
BAIREUTH.	Jaune brunâtre.	59,5	trace.	36	» »	2,5	2	BUCHOLZ.

D'après les recherches intéressantes de Collet Descotils, il paraît que la magnésie peut varier entre 0 et 12,6 pour cent, et que la quantité de manganèse décroît à mesure que la dose de magnésie augmente; cette dernière peut rendre le minérai assez réfractaire pour qu'il résiste à la plus forte chaleur des hauts

* Ce protoxide de manganèse correspond au troisième degré d'oxidation adopté par M. Berzélius. Système de Chimie, par Th. Thomson.

Le T.

fourneaux. La fusibilité du fer spathique est toujours en rapport direct avec sa pureté. Il se combine aussi avec le carbone en nature. M. Berthier a trouvé dans un échantillon provenant du Cantal :

Protoxide de fer...............	59
Protoxide de manganèse......	4
Silice..........................	1,6
Argile et chaux................	0,4
Charbon........................	2
Acide carbonique..............	33

Je suis possesseur d'un semblable échantillon venant de la Haute-Silésie; à l'extérieur, il ressemble au fer magnétique; mais on pourrait élever encore des doutes sur la manière dont le carbone est combiné dans le minérai.

283. Le fer spathique est ordinairement accompagné de spath calcaire, de spath brunissant, quelquefois aussi de quartz et de spath pesant. Mélangé avec les sulfures de fer, de cuivre et de plomb, en petites doses, il n'en est pas sensiblement détérioré; mais ces minéraux, en quantités plus fortes, peuvent, comme le sulfate de baryte, le rendre entièrement intraitable. A l'état pur, ou combiné avec des terres qui ne font que diminuer sa fusibilité, il constitue le meilleur minérai, qu'on traite dans des fourneaux de peu d'élévation : on en retire alors de la fonte blanche que l'on convertit en acier; mais, lorsqu'il contient des métaux sulfurés, beaucoup d'argile et de magnésie, il faut tâcher d'en obtenir toujours de la fonte grise.

283. L'Allemagne abonde en fers spathiques. L'Autriche et la Vestphalie sont sur-tout dotées par la nature, des meilleurs minérais de cette espèce. C'est

celui dont le traitement exige le moins de dépenses, à cause de sa pureté toute particulière et de sa fusibilité, qui n'est point, comme plusieurs métallurgistes l'ont pensé, une suite naturelle de la présence du manganèse; ce métal s'oppose seulement à la formation du graphite, rend la fonte blanche et la rapproche de l'état du fer malléable. C'est le minérai qui, en exigeant le moins de manipulation, produit un des meilleurs fers et les meilleurs aciers. Les maîtres de forges qui le traitent exclusivement ne peuvent avoir qu'une idée imparfaite de toutes les difficultés que présente l'art de la préparation du fer.

285. Exposés à l'air, les fers spathiques se décomposent et deviennent bruns rougeâtres. Ils sont plus ou moins disposés à subir cette altération, qui est hâtée par les corps étrangers contenus dans le minérai et surtout par l'humidité de l'atmosphère. Après quelques années de séjour à l'air, la couleur claire et blanchâtre a disparu entièrement. Dans plusieurs endroits ils portent alors le nom de *minérais brunissans*, et les autres qui sont dans leur état naturel, s'appellent *minérais blancs*. La décomposition commence à la surface et pénètre peu à peu dans l'intérieur : elle influe sur la dureté qui est bien moins forte dans les minérais brunissans que dans les autres.

Le grillage présente aussi un moyen d'attendrir le fer spathique, et de changer sa couleur en brun de chocolat; mais il existe une grande différence entre les minérais grillés et ceux qui ont éprouvé à l'air une décomposition spontanée. Les premiers ont perdu leur acide carbonique; mais l'état d'oxidation de la base est resté le même: tandis que les derniers se sont oxidés et convertis à l'air en un composé d'hy-

drate et de protocarbonate de fer ou d'hydrate et de sous-percarbonate, selon le temps qu'ils ont été soumis à l'influence de l'atmosphère. Sans la présence de l'eau, le fer spathique ne change point de nature; il en est de même, lorsqu'on le plonge entièrement dans ce liquide : sa décomposition est donc une suite de l'action simultanée de l'eau et de l'air atmosphérique.

On ne sait pas encore si, par le séjour à l'air, une portion de l'acide carbonique de ces minérais se trouve décomposée en oxigène et en gaz oxide de carbone; ou si, comme il est assez probable, le protoxide, absorbant l'oxigène, passe à l'état de peroxide, laisse dégager une partie de l'acide carbonique, et se combine avec l'eau pour former ensuite un sous-sel avec le reste de l'acide. Une chose certaine, c'est le changement du protoxide en peroxide et en hydrate, ou celui du protocarbonate en sous-percarbonate hydraté.

286. Plusieurs métallurgistes ont pensé que les fers bruns et les minérais brunissans, ayant la même couleur, la même raclure, et contenant l'un et l'autre du manganèse et de l'eau, devaient être les mêmes; que tous les fers bruns à leur origine, étaient des fers spathiques, et que par une décomposition lente et successive, ils avaient perdu leur acide. On ne peut nier la possibilité de semblables transformations; cependant, il faut observer que le fer brun est beaucoup plus compacte que les minérais brunissans et, sur-tout, qu'il ne contient jamais une trace d'acide carbonique; tandis que ceux-ci ne peuvent le perdre entièrement qu'en passant à un état ocreux et friable, ce qui n'a jamais lieu pour les fers bruns naturels et purs. Quoi qu'il en soit, les fers spathiques changés par l'air en minérais brunissans, ressemblent d'autant plus aux fers

bruns, qu'ils contiennent une plus grande dose de manganèse.

287. Le fer argileux, d'après la manière de voir du minéralogiste et du métallurgiste, comprend tous les minérais dans lesquels l'oxide se trouve combiné avec une si grande quantité de terres, qu'il perd son caractère essentiel. On conçoit, d'après cela, qu'il varie dans sa composition, selon la nature et la quantité des terres, le degré d'oxidation, la combinaison avec l'eau, l'acide phosphorique, le carbonique, et peut-être même avec l'acide sulfurique. Il est donc impossible d'attacher une idée précise à une désignation aussi vague; mais on peut du moins affirmer que dans les terrains d'ancienne formation, le caractère de ce minérai est mieux prononcé que dans les terrains dont l'origine est plus récente; ou, ce qui revient au même, on y aperçoit encore la trace du passage de l'oxide rouge ou du fer brun, à l'état de fer argileux. Dans les terrains de formation nouvelle, son caractère est tout-à-fait indéterminé, et alors il devient difficile d'apprécier en quel état l'oxide de fer se trouve combiné avec les substances terreuses *.

288. Un aspect terreux, peu ou point d'éclat dans les fers argileux, sont des indices certains d'une forma-

* Le minérai de fer des houillères, le fer carbonaté, argileux ou lithoïde, mérite une place à part qui semble marquée à la suite du fer spathique dont il forme une sous-espèce. Nous allons en donner une description succincte extraite du mémoire de M. Gallois. Annales des Mines, tome 3, page 517.

Caractères physiques.

« Couleur; toutes les nuances du gris enfumé jusqu'au noir. —
» Pesanteur spécifique de 0,27 à 0,34. Cassure, terreuse, conchoïde,
» plate ou schisteuse; en général peu dur, mais résistant aux outils.

tion nouvelle. Il est difficile alors de reconnaître le degré d'oxidation du fer et l'espèce de combinaison qu'il forme avec les autres substances. Cependant le peroxide est caractérisé par le rouge de sa raclure, l'hydrate par le jaune, et l'hydrate combiné avec l'oxide de manganèse par le brun jaunâtre. La raclure grise annonce une combinaison des deux oxides, quelquefois aussi un protocarbonate de fer combiné avec beaucoup de silice et d'alumine.

Les fers argileux de la dernière formation, lorsqu'ils contiennent du protoxide ou du protocarbonate, sont blancs en sortant de la mine, deviennent gris par leur séjour à l'air ou par un faible grillage, passent

---

» Raclure ordinairement grise, quelquefois brune ou noire; alors » très-bitumineux et combustible.

Caractères chimiques.

» Ce minérai fait effervescence avec les acides, laisse dégager des » vapeurs rutilantes lorsqu'on le chauffe avec l'acide nitrique; il » produit par le grillage à l'air libre, un oxide rouge brun très-» attirable à l'aimant : même effet à la première impression du » chalumeau. La perte au feu par cette opération varie de 0,13 » à 0,50. Il rend au creuset de 0,10 à 0,36 de fonte, et en grand » de 0,20 à 0,33 sur la matière crue. »

Gissement.

Il existe en couches, en veines continues et en masses réniformes, balles ou galettes, en dessus et en dessous des couches de houilles; mais on peut le trouver aussi, 1°. dans le calcaire gris bleuâtre coquillier, caractérisé par les entorques et regardé par les minéralogistes comme un calcaire de transition; 2°. dans des terrains des débris de grès et de schistes houillers proprement dits; 3°. enfin dans des terrains tertiaires. Cette espèce, dit M. Berthier, est du petit nombre de celles que la nature a pu produire à toutes les époques où elle a formé sur le globle, des dépôts de substances minérales. Annales des Mines, tome 4, page 654.

Le T.

ensuite au brun foncé, et finissent par prendre une couleur brune rougeâtre.

289. La richesse de ces minérais est aussi variable que leurs autres propriétés : ce sont les circonstances locales qu'on doit consulter pour savoir si leur traitement présente des bénéfices. Les terres qui les accompagnent sont ordinairement la silice ou l'alumine. Cette dernière est presque toujours prédominante, surtout dans les terrains de dernière formation ; dans ceux qui sont anciens, c'est la silice qui l'emporte sur l'alumine.

290. Souvent aussi les fers argileux sont imprégnés de blende et de pyrites. Si leur formation est récente, ils peuvent contenir aussi de l'acide phosphorique ; dans ce cas, ils seraient rangés parmi les fers limoneux, si la grande quantité de terres qu'ils contiennent ne les privait point des caractères distinctifs de ces phosphates : la cassure conchoïde, la couleur noire et l'éclat résineux. Le sidérurgiste praticien doit les éviter, s'il veut obtenir du fer ductile de bonne qualité. Les pétrifications de coquillages, lorsqu'elles abondent, sont presque toujours un mauvais indice.

Il existe aussi des fers argileux à couches concentriques, cimentés ensemble par l'oxide du métal. Il en est d'autres qui, sous forme ocreuse, sont mélangés de grains de sable empâtés dans l'oxide, de manière à ne pouvoir en être séparés par le lavage. Cette dernière espèce de minérai, quand elle contient des parcelles de fer brun incrustées dans la masse, peut donner d'excellens produits : comme, par exemple, les minérais de Tarnowitz, dans la Haute-Silésie. Avec ceux qui sont à couches concentriques, on obtient quelquefois de bon fer ; mais souvent il est rendu cassant à froid par la présence du phosphore.

291. L'Angleterre ne possède presque point d'autres minérais de fer que le fer argileux. On le trouve très-fréquemment en Allemagne ; on le réduit en Silésie, en Moravie, dans la Bohême, la Haute-Saxe et les provinces du sud-ouest. On le traite aussi en France, en Pologne et en Russie. Le fer qu'il produit est très-variable dans sa qualité, pour les raisons que nous venons d'indiquer.

La couleur jaune est la preuve de la présence de l'eau dans les minérais. C'est M. Proust qui, le premier, a signalé la nature des nombreuses combinaisons de ce liquide avec les oxides. MM. d'Aubuisson et Hausmann ont fait des recherches pour déterminer la quantité d'eau contenue dans ces substances : nous devons à M. Hausmann un intéressant mémoire sur les hydrates de fer renfermés dans les minérais de fer et dans d'autres matières minérales.

GÉNÉRALITÉS SUR LES OPÉRATIONS QUE L'ON FAIT ÉPROUVER AUX MINÉRAIS AVANT DE LES FONDRE.

292. On réduit les minérais de fer en grand comme dans les essais ; on les fond, en contact avec le charbon. Il s'ensuivrait que le résultat de l'opération serait toujours de la fonte, du fer combiné avec le carbone et les métaux terreux, si quelquefois le fer cru ne se trouvait converti, par l'action du courant d'air, en une espèce d'acier, et même, d'après certains procédés, en fer ductile, lorsque ces sortes de procédés sont portés à leur dernier degré de perfection.

293. Il est un fait d'expérience, qui, au premier aspect, semble opposé à ces principes, c'est que certains minérais fondus au creuset, enveloppés de pous-

sière de charbon et garantis du contact de l'air, donnent du fer aciéreux au lieu de fer cru ; mais en examinant ce phénomène de plus près, on voit qu'il n'arrive qu'avec des minérais pauvres, contenant beaucoup de terres et fournissant une scorie épaisse et réfractaire.

Un degré de chaleur susceptible de réduire des minérais riches, ne produit avec les autres qu'une vitrification générale. Si l'on élève la température, la réduction s'effectue ; mais, au lieu de former un culot, le fer désoxidé se trouve disséminé dans la masse de ces scories visqueuses, soit en globules, soit en veines très-fines, dont une partie est du graphite, une autre de la fonte, une autre du fer aciéreux. En réunissant ces faits, on en peut conclure que la viscosité des scories protégeait l'oxide contre l'action du carbone ; que les parties réduites et qui avaient absorbé une assez grande quantité de ce réactif pour être changées en fonte, le cédaient ensuite à celles qui se trouvaient encore oxidées, et passaient par conséquent, elles-mêmes, à l'état d'acier. Les minérais qui ne donnent point de scories épaisses, ne peuvent, dans les essais en petit, produire du fer ductile.

294. On doit attribuer en grande partie la réduction du fer à la propriété des substances terreuses de se vitrifier, en contact avec le charbon, bien plus facilement que les autres oxides métalliques, lorsque, mêlées en proportions convenables, elles sont soumises à l'action d'une forte chaleur. Une petite portion seulement se trouve réduite et se combine avec le fer cru, sur-tout lorsqu'elles sont très fusibles ; tandis que l'autre passe à un état de vitrification plus ou moins avancée, et entraîne une quantité d'oxide d'autant plus

considérable que ces terres sont elles-mêmes plus réfractaires. Enfin la majeure partie des métaux terreux entrés en combinaison avec le fer, en est séparée lorsque la fonte grise passe à l'état de fonte blanche.

295. Il paraîtrait, d'après cela, que les minérais les plus faciles à fondre et à traiter pour fer cru, seraient ceux qui contiendraient le moins de terres, comme le fer magnétique, le fer spéculaire, l'oxide rouge et l'oxide brun, parce qu'ils ne donnent presque point de scories, et que leur réduction n'éprouve en ce cas aucun obstacle. C'est aussi ce qui a lieu dans les essais; mais dans les opérations en grand, il en arrive autrement : le fer se désoxide trop vîte, n'étant pas protégé par le laitier; une partie, en passant devant la tuyère, se combine de nouveau avec l'oxigène et se convertit en scories; l'autre, perdent de son carbone, passe à l'état de fer aciéreux. Au reste, il n'est pas nécessaire que les minérais de cette nature produisent de la fonte grise; on préfère même en obtenir de la fonte blanche; c'est pour cette raison qu'on les réduit presque toujours dans des fourneaux dont le foyer est extrêmement large (dans les flussofen) *, et qui, pour cela même, ne peuvent acquérir un haut degré de chaleur.

296. Si les terres qui accompagnent les minérais précités sont difficiles à liquéfier, elles pourront protéger le fer contre l'action du courant d'air pendant la fusion; mais elles absorberont une si grande quantité d'oxide, pour entrer en vitrification, que le résultat ou le produit, sera presque le même que dans le cas précédent (295). Malgré la perte qui s'ensuit, on est

* Les blauœfen ou flussofen.

forcé de traiter ces minérais réfractaires, ou pour mieux dire, ces minérais dont la gangue seule est très-réfractaire, dans les hauts fourneaux ordinaires, parce que les fourneaux à larges foyers ne donneraient pas assez de chaleur pour opérer la réduction. Ce traitement leur convient d'ailleurs sous d'autres points de vue :

1°. Parce qu'ils engorgent rarement le fourneau; dont l'allure peut paraître quelquefois dérangée par une surcharge de minérai, sans que la fonte cesse d'être encore très-chaude et très-liquide;

2°. Parce qu'ils ne demandent pas un si haut degré de chaleur pour leur réduction que d'autres minérais réfractaires; de sorte que le point essentiel est de liquéfier les scories : mais pour en tirer le parti le plus avantageux, il faut les assortir avec des minérais moins riches et qui produisent des scories plus liquides.

297. En Suède, on distingue les minérais d'après leur richesse, leur fusibilité et la quantité de scories qu'ils donnent pendant la réduction. Lorsqu'ils sont riches, on les assortit à ceux dont la gangue est très-fusible et qui leur servent alors de fondant. Une partie de la bonne qualité des fers doit être attribuée aux soins que, dans ce pays, on donne à l'assortiment des minérais.

298. Le degré de consistance des laitiers est aussi un point essentiel dans le traitement des minérais pour fonte : trop visqueux, ils enveloppent le fer entièrement; trop liquides, ils l'abandonnent avant d'arriver au creuset : nous reviendrons sur cet objet. Notre but était seulement de faire observer que le sidérurgiste a beaucoup de précautions à prendre pour traiter chaque minérai de la manière la plus avantageuse.

299. Les minérais riches, lorsqu'ils ne sont pas

souillés de pyrites, de fer arsenical, de spath pesant, d'apatite *, ou d'autres phosphates, donnent ordinairement de très-bon fer, et sont d'autant plus propres à donner de l'acier qu'ils contiennent une plus grande quantité de manganèse. On les réduit rarement dans les hauts fourneaux, à moins de les mélanger avec d'autres minérais; il n'est pas nécessaire que la fonte qu'on en retire soit grise. Si cependant, ils retenaient des substances nuisibles, on commettrait une faute grave, en les traitant pour fonte blanche. C'est donc d'après leur nature qu'on doit régler la manière de les réduire, tant pour les bénéfices que pour la qualité des produits.

300. Il est constaté depuis long-temps par l'expérience, que les minérais fraîchement tirés du sein de la terre, sont moins fusibles et donnent souvent aussi de plus mauvais produits que ceux qui ont séjourné long-temps à l'air ou ceux qui ont d'abord subi une calcination à une chaleur modérée. On a cherché bien loin la raison de ce fait singulier. La plupart des métallurgistes pensent que ces préparations portent le fer à un plus haut degré d'oxidation, et qu'alors on le réduit avec plus de facilité; mais les essais en petit, ne viennent point à l'appui de cette assertion, car si de ce côté il y avait un avantage, il serait plutôt en faveur du protoxide.

Il est toutefois possible que l'oxigène dégagé de l'oxide, à la chaleur blanche, puisse hâter la combustion du charbon, augmenter le degré de température dans la partie supérieure de la cuve et produire par conséquent une fusion plus rapide; mais cette explication ne peut

---

* Chaux phosphatée.

s'appliquer ni aux minérais riches ni au peroxide : les premiers ne sont réduits que trop promptement, à tel point qu'on ne peut même les fondre avec avantage dans les hauts fourneaux, et les autres, oxidés au maximum en sortant de la mine, ne pourraient plus absorber l'oxigène de l'air; cependant, il est certain qu'on facilite leur traitement dans les hauts fourneaux, par un grillage préalable ou par un long séjour à l'air atmosphérique. Enfin rien ne prouve que la dose d'oxigène absorbée par le grillage, soit assez forte pour exercer une influence sensible sur la température du fourneau.

Si les minérais contenaient des pyrites, on pourrait penser que l'oxigène du peroxide, qui se dégage avant la fusion, se portant sur le soufre, le convertirait en gaz acide sulfureux; mais, quelque juste que paraisse ce raisonnement, il repose cependant sur une hypothèse; car il faudrait que le soufre renfermé dans la pyrite, se combinât avec l'oxigène à une plus basse température que le carbone, ce qui a lieu seulement lorsqu'il est à l'état libre ou dans le persulfure *.

301. Le grillage et un séjour prolongé à l'air, n'ont en général d'autre but que de diminuer la force de cohésion et d'augmenter par conséquent les effets de l'affinité, de disposer les minérais à former de nouvelles combinaisons et de faciliter ainsi l'influence que le carbone doit exercer sur ces matières, dans les températures qui

* Quoi qu'il en soit de cette hypothèse, il est certain que le grillage fait dégager une certaine quantité de soufre, et que la dose en est alors considérablement diminuée au moment où les minérais sont jetés dans le haut fourneau; mais on reviendra sur cet objet.

précèdent la fusion. Une forte cohésion est, dans les substances terreuses que nous appelons *pierres*, une source de phénomènes bien extraordinaires : le saphir, le spinel, le spath adamantin, etc., en fournissent la preuve la plus évidente. Le grillage peut atténuer cette force d'une manière qui nous est inconnue, et l'air atmosphérique produit à la longue le même effet.

Les minérais durs, tels que le fer spéculaire et le magnétique, ne subissent point d'altération spontanée. La division intérieure dont il s'agit ici, ne peut être provoquée que par le grillage. Le fer spathique, l'oxide rouge et l'oxide brun exigent un temps très-long pour éprouver ce changement; on doit donc le hâter par le feu. Il existe des fers argileux qui demanderaient pour cet effet un certain nombre d'années; il faudrait donc les accumuler en masses considérables, et comme on ne peut avoir de pareils approvisionnemens, on est encore obligé de les calciner; mais les minérais friables et ocreux n'en ont aucun besoin. Les fers limoneux peuvent s'en passer également, parce qu'ils sont très-aigres en sortant de la terre, et qu'ils se divisent facilement en petits morceaux.

302. Quoique le minérai perde et par le grillage et par le séjour à l'air, une partie de la force de cohésion, cependant il ne subit pas dans l'un et dans l'autre cas, le même changement. L'altération à l'air est accompagnée d'une oxidation plus forte que celle qui résulte du grillage, si toutefois le métal est en partie à l'état de protoxide; la division qu'on a en vue d'opérer devient donc plus complète. Dans le cas même où l'on traiterait un peroxide, l'altération spontanée produirait un effet plus fort que la calcination : les minérais qui l'ont éprouvée sont plus cassans et plus

friables que ceux qui ont subi seulement l'action de la chaleur.

303. Le degré de chaleur pendant le grillage doit être proportionné à la fusibilité des minérais; en le dépassant, on les convertirait en scories et la réduction de ces substances est très-difficile; on aurait donc manqué le but. Les scories de forge présentent un exemple de ces oxides dont le traitement exige tant de peines. La difficulté de les réduire est probablement une suite de la vitrification des terres, qui, dans un état de combinaison très-intime avec l'oxide, s'opposent alors d'une manière plus énergique, à un changement de nature. C'est par suite de cette forte intimité qu'on peut expliquer aussi les variations dans la couleur des corps oxidés; et c'est aussi par cette même cause que les scories de forge qui ne sont réduites qu'à la chaleur la plus élevée, ne donnent presque toujours dans leur traitement, que de la fonte blanche *.

304. Des minérais dont la force de cohésion a été déjà ébranlée par le feu, deviennent bien plus tendres étant exposés à l'air; leur oxide passe bien plus vîte au maximum d'oxidation. Si le prix du combustible le permettait, on devrait toujours les griller d'abord et les soumettre ensuite, le plus long-temps possible, à l'influence de l'air atmosphérique.

305. Le grillage est sur-tout très-essentiel, lorsqu'on ne peut se servir que de petits fourneaux animés d'un

* Parce que la fonte blanche, pour se changer en fonte grise, exige non-seulement un haut degré de chaleur, mais aussi un certain temps. Si la réduction ne se fait qu'à la plus haute température du foyer, très-près de la tuyère, ce changement ne peut plus avoir lieu.
Le T.

faible degré de chaleur et soumis à de fréquentes variations de température. Si cette opération était négligée, les minérais, au lieu de se réduire, pourraient entrer en vitrification, parce qu'ils se présenteraient devant la tuyère sans être suffisamment préparés. Quand on est menacé d'un semblable accident, la tuyère commence par s'obscurcir, le laitier qui la bouche à chaque instant devient noirâtre, le fourneau se refroidit, toute son allure annonce une surcharge de minérai, la fonte qu'on obtient, renferme beaucoup de charbon et quelquefois aussi une forte dose de métaux terreux. Mais les mêmes causes de dérangement n'existent point dans les fourneaux qui ont une certaine hauteur, parce que les minérais sont préparés à la fusion dans la partie supérieure de la cuve.

306. L'effet du grillage ne se borne pas seulement à rompre la force de cohésion des minérais, mais il sert encore à chasser l'eau et l'acide carbonique; ce qui est beaucoup plus important qu'on ne le croirait au premier abord. On sait qu'une pression mécanique s'oppose à l'évaporation des fluides : les résultats des opérations chimiques dans lesquelles il doit se former un corps volatil, seraient changés, si l'on voulait le retenir. Dans des vaisseaux hermétiquement fermés, aucun acide ne pourrait déplacer l'acide carbonique: exposé à la plus forte chaleur, le fer spathique ne se décomposerait pas, à moins que les parois de ces vases ne fussent brisés par l'expansion du fluide. Le combustible et les minérais entassés dans la cuve du fourneau, exercent une semblable pression et retardent en quelque façon le dégagement de l'eau et de l'acide carbonique.

Cet obstacle opposé à la réduction, acquiert plus d'énergie encore par le refroidissement que produit la

naissance des gaz; et ce refroidissement est proportionnel à la quantité d'eau et d'acide carbonique introduits dans le foyer. Telles sont les raisons qui rendent avantageuses l'altération spontanée et la calcination, lorsque les hauts fourneaux sont grands; et nécessaires, lorsqu'ils n'ont qu'une faible élévation.

307. Des minérais crus ou récemment extraits de la mine, peuvent, quoiqu'en petite dose, produire les mêmes phénomènes qu'une surcharge de minérais grillés : la réduction arrive trop tard, la séparation des matières est incomplète, le fer reste surchargé de charbon, et le laitier augmente à tel point que le fourneau finit par s'engorger. Lors donc qu'on emploie de petits fourneaux, le grillage améliore la qualité du fer cru, produit une économie de combustible et prévient les accidens. MM. de Pantz et Atzl ont fait à ce sujet des essais très-intéressans : il en est résulté que la dépense en charbon n'était que de 15,09 pieds cubes par quintal de fonte pour le minérai brunissant (285), et de 21 pieds et demi pour le fer spathique non altéré à l'air; quoique celui-ci contienne un peu plus de métal que les autres.

308. Si le séjour à l'air atmosphérique et le grillage sont utiles pour tous les minérais, la dernière de ces préparations devient indispensable pour ceux qui sont imprégnés de pyrites. Le soufre, d'après ce que nous avons vu, ne pourrait en être séparé dans les hauts fourneaux, hormis la partie dont le dégagement fait descendre les pyrites à l'état de protosulfure; ce n'est que la calcination à l'air qui peut opérer une décomposition complète. On est même obligé de faire supporter à ces minérais un feu plus fort et plus soutenu, que si l'on voulait seulement les diviser, ou chasser l'eau

et l'acide carbonique. On les couvre de poussière de charbon, vers la fin de l'opération; ce procédé, qui semble contrarier l'effet qu'on veut obtenir, parce qu'il retarde l'oxigénation du soufre, a pour but de décomposer l'acide sulfurique, formé par la présence de l'eau, et d'en faire dégager le soufre à l'état de gaz acide sulfureux.

Dans certaines usines, on éteint dans l'eau les minérais grillés; c'est un excellent moyen de se débarrasser du reste de l'acide sulfurique. Il faudrait ensuite pouvoir les conserver un certain temps à couvert ou les sécher par un moyen économique.

309. Le grillage avec ou sans poussière de charbon, ne produit aucun effet sur l'acide phosphorique; il ne sert donc qu'à diviser les minérais qui le contiennent, à leur enlever l'eau dont ils sont tellement chargés, que la dose s'élève souvent à 20 ou 25 pour cent. Une grande partie de l'acide se vitrifie avec les terres; mais le reste se décompose et cède le phosphore au fer cru.

Le plomb, le cuivre et le zinc résistent également à la calcination; ils sont réduits dans le fourneau, se combinent entre eux et avec le fer, ou ils restent dans le creuset sans former d'alliage, ou enfin ils se volatilisent. Le fer arsenical se décompose par la calcination; la majeure partie de l'arsenic s'échappe, la plus petite s'unit à la masse du métal, sans lui donner aucun défaut.

310. Il ne suffit pas de préparer les minérais par le grillage ou le séjour à l'air, on doit encore les concasser, les bocarder. La fusion et la réduction deviennent plus faciles et plus complètes, lorsque les fragmens que le carbone doit attaquer, sont réduits à une certaine grosseur; c'est ainsi qu'on accélère la

dissolution des corps dans les liquides, en multipliant les surfaces. Ces fragmens doivent être d'autant plus petits que les fourneaux sont plus bas; cependant il ne faut pas les convertir en poussière : ce serait un moyen de fermer le passage à l'air, et d'engorger la cuve. La poussière d'ailleurs, dont une partie est chassée par le vent, accroît le déchet, s'agglutine promptement et entre en vitrification. La grosseur des morceaux peut varier entre 20 et 70 centim. cubes.

311. Malgré tous les soins apportés à ces opérations préparatoires, les minérais ne peuvent être traités avec avantage, lorsqu'ils sont trop riches, ou lorsqu'ils donnent un laitier trop épais ou trop liquide (294, etc.). Garney pose en principe qu'ils doivent contenir au plus de 45 à 55 pour cent de métal. Passé ce point, ils ne fournissent pas assez de scories, à moins qu'on ne leur ajoute des matières *stériles* (qui ne contiennent point de fer).

Il est donc très-avantageux d'assortir les minérais riches avec les minérais pauvres, de manière que le mélange puisse contenir à peu près 50 pour cent de fer. Duhamel prétend que la quantité de scories doit être quatre ou cinq fois plus forte que celle de la fonte; mais ces données nous semblent exagérées.

312. Il est assez facile de régler la marche du fourneau, si l'on traite des minérais pauvres; mais une grande quantité de métal reste incrustée dans les laitiers, qui sont alors très-abondans et très-visqueux. On n'y peut remédier qu'avec une dépense considérable en charbon *.

---

* On bocarde les laitiers pour en retirer les grains de fonte, mais on en perd; et cette fonte en grenaille n'est pas, à beaucoup près, sous la forme la plus avantageuse. Le T.

313. On doit favoriser la tendance des terres à la vitrification, en leur ajoutant d'autres substances terreuses pour les rendre plus fusibles, afin qu'elles n'absorbent pas une si grande quantité de protoxide de fer, qui augmente d'ailleurs la fusibilité de tous les verres terreux. Il existe peu de minérais qui puissent, sans aucune addition, être fondus avec avantage. Lorsque les proportions entre les terres sont peu favorables à leur vitrification, on perd une grande quantité de métal entraîné dans les scories, la masse est réfractaire, le laitier trop visqueux: or, c'est de son juste degré de consistance que dépend le succès de l'opération (298). On est donc forcé de leur ajouter des matières stériles : il y a peu d'usines où l'on puisse en supprimer l'emploi.

Ces matières portent le nom de *flux* ou de *fondant;* leur nature et leur dosage sont réglés par la nature des minérais et le degré de chaleur du foyer. Si le fourneau est très-élevé, s'il peut acquérir une très-haute température, il faut une plus faible quantité de fondant pour donner aux scories la fluidité convenable, et pour opérer une réduction parfaite.

314. On est donc obligé de se servir de fondans et d'assortir les minérais pour augmenter la fusibilité de la gangue : le plus souvent on emploie l'un et l'autre moyen à la fois; le dernier, lorsqu'il est praticable tout seul, offre d'autant plus d'économie qu'il existe des minérais qui sont réfractaires pris isolément, et fusibles étant mêlés ensemble. En général, le mélange favorise la vitrification. Il est évident que les usines assez heureusement situées pour n'avoir besoin que d'assortir leurs minérais, ont sur les autres un avantage marqué.

315. C'est du choix et du juste dosage des fondans que dépendent en grande partie les bénéfices du fabricant. Employés en trop forte dose, ils manquent leur but, celui de donner aux scories une consistance moyenne; il est assez difficile d'en fixer les proportions avec exactitude. A la rigueur, il faudrait même les régler selon la marche du fourneau; mais on adopte ordinairement un dosage fourni par l'observation, lorsque la température du foyer n'est ni très-basse ni très-élevée.

316. Des chimistes et des métallurgistes ont cherché à déterminer le degré de fusibilité des terres mêlées entre elles; mais leurs recherches n'ont pu répandre encore beaucoup de lumières sur cet objet. C'est toujours à l'expérience seule qu'il faut recourir : on ne peut en être surpris, quand on considère l'influence que tous les corps étrangers doivent exercer sur la vitrification des terres; influence dont il est impossible de tenir compte dans les essais. Combien les résultats ne sont-ils pas changés, par la quantité variable des cendres du combustible; par le soufre et l'acide phosphorique des minérais; par la présence accidentelle d'un peu de plomb, de cuivre, d'oxide de manganèse et de certaines terres; par le degré de chaleur du fourneau, et par mille autres circonstances, qui doivent modifier et faire suspecter les inductions que l'on vondrait tirer des essais en petit pour les opérations en grand? Loin de moi cependant, l'idée de vouloir jeter une défaveur sur les expériences qui ont été faites par Achard, Bergman, Chaptal, Cramer, Ehrmann, Gerhard, Gilbert, Guyton-Morveau, Homberg, Kirwan, Klaproth, Lampadius, Lavoisier, Lelièvre, Marggraf, de Poërner, de Tiemann, de

Wiegleb, etc.; elles indiquent du moins le chemin à suivre dans les tâtonnemens.

Il résulte en général de ces expériences, que la chaux, la silice, l'alumine et la magnésie sont infusibles prises séparément; que deux à deux et par parties égales, elles ne sont point vitrifiables, si l'on excepte la silice et la chaux mélangées ensemble; que le protoxide avec une seule terre fond difficilement; que mélangées par trois, elles deviennent plus vitrifiables, lorsqu'une des terres est dominante (à l'exception cependant de la magnésie); que tous les mélanges quaternaires se liquéfient avec une très-grande facilité; enfin que l'oxide de manganèse entraîne promptement les terres en vitrification, lors même qu'elles sont prises isolément. La silice tient sous ce rapport le premier rang; viennent ensuite la chaux, l'alumine et la magnésie; mais cette dernière se vitrifie difficilement, même avec l'oxide de manganèse.

317. Il est difficile de porter un jugement approfondi sur l'effet des flux, avant d'avoir établi une théorie sur la vitrification. Nous ignorons encore pourquoi tel mélange fusible dans un creuset argileux est réfractaire dans un creuset de graphite, et *vice versâ*. Ne pouvant donc conclure *à priori*, il faut recourir à l'expérience pour la nature et la qualité des fondans.

Les essais en petit nous prouvent toutefois, qu'on doit espérer peu de succès d'un mélange binaire, qu'un minérai ne contenant qu'une seule espèce de terre ne devient pas assez fusible par l'addition d'une autre; qu'alors il faudrait se servir d'un fondant composé de plusieurs terres; enfin que l'oxide de manganèse est le flux le plus puissant. Ce fait est confirmé d'ailleurs par les opérations en grand: car tous les minérais

manganésifères se distinguent avantageusement par leur fusibilité.

DES ESSAIS PAR LA VOIE SÈCHE.

318. Dans l'extraction de la plupart des métaux, de l'or, de l'argent, du cuivre, du plomb, le degré d'exactitude des opérations en grand est vérifié par les essais en petit. Cet usage n'est pas encore généralement introduit dans les usines à fer; parce qu'on est certain, lorsque la marche du fourneau est bien réglée, de retirer du minérai tout ce qu'il est possible d'en extraire. C'est seulement quand il se dérange, que les scories sont chargées de métal; mais cet état ne pouvant durer sans le plus grand danger, on est bientôt forcé de revenir à une bonne allure.

Dans l'extraction des autres métaux, les pertes qu'on éprouve, ne sont point signalées par la marche de l'opération ; on n'en est averti que par les essais en petit. Il faut d'ailleurs examiner la richesse des demi-produits, avant de les soumettre à de nouveaux traitemens; ce qui n'a pas lieu pour le fer. Cependant, il est nécessaire pour le maître de forge de savoir déterminer la quantité de métal contenue dans un minérai nouvellement découvert, et de pouvoir comparer de temps en temps les résultats des essais avec les produits des hauts fourneaux.

319. Les essais, d'après ce qui a été dit au paragraphe 292, ne donnent au lieu de fer qu'un culot de fonte. Il ne peut d'ailleurs exister une parfaite harmonie entre les résultats obtenus dans les creusets et ceux des hauts fourneaux, parce que ces résultats sont modifiés par le degré de chaleur et la nature des

fondans qui ne se ressemblent point. On peut dire, même avec beaucoup de raison, que ce sont presque toujours les opérations en grand qui servent à faire juger du degré d'exactitude des essais.

320. La richesse des minérais de fer ne peut être déterminée avec précision, qu'au moyen de l'analyse par la voie humide. Dans les essais par la voie sèche, une partie du protoxide entre dans les scories; d'un autre côté, le fer se combine avec le carbone, les métaux terreux, le soufre, le phosphore et le manganèse. De sorte qu'il faudrait mettre en jeu toutes les ressources de la docimasie pour déterminer seulement la quantité de fer contenue dans le culot.

On peut donc admettre au moins, que les résultats des essais en petit ne peuvent indiquer la richesse des minérais avec plus de certitude que les essais en grand, faits dans les hauts fourneaux qui ont une bonne allure.

321. Nous sommes, malgré cela, bien éloignés de prétendre que dans l'extraction du fer en grand, l'analyse par la voie humide doive être employée comme moyen de vérification. Il est certainement très-avantageux de connaître la richesse et la composition des minérais, d'avoir quelques données sur la nature du fer qu'ils peuvent produire, et sur le choix des fondans. Mais les analyses, pour être faites avec exactitude, occasionnent tant de peines qu'il serait impossible de les mettre journellement en usage. Si, en opérant par la voie humide, on se bornait à dissoudre le minérai dans l'eau régale et à précipiter le fer par le prussiate ferrugineux de potasse, dans la supposition qu'à 100 parties de bleu de Prusse, correspondent 27,7 d'oxide et 17,1 de fer (§. 189), on tomberait dans des erreurs bien autrement graves que celles qu'on voudrait éviter.

Si donc il ne s'agit que d'avoir des données approximatives, il faut préférer les essais par la voie sèche. Ce n'est que pour connaître le minérai dans toutes ses parties composantes qu'on doit employer l'analyse par la voie humide; mais cette opération exige une si grande habitude jointe à des connaissances si étendues, que peu de personnes peuvent l'exécuter avec précision.

On sépare le fer très-difficilement des terres et des autres métaux, et après avoir effectué cette séparation, il se présente une difficulté d'un autre genre; c'est de déterminer avec une certaine rigueur la quantité d'oxigène, d'eau et d'acide même qu'il peut retenir quelquefois à l'état de sous-sel. On peut commettre en plus ou en moins des erreurs nombreuses : celui qui est au fait de ces analyses, ne proposera jamais d'en faire un moyen de contrôle pour les travaux sidérurgiques.

322. Il paraîtrait, au premier abord, que les essais devraient avoir lieu avec les flux, qui, dans les hauts fourneaux, servent de fondans, afin que les choses fussent plus égales de part et d'autre; mais cette raison n'est que spécieuse, parce qu'il y a trop de différence d'une méthode à l'autre, dans toutes les circonstances de la fusion : il n'est guères possible de produire dans les petits foyers, un coup de feu aussi violent que dans les hauts fourneaux; le flux qui est assez fusible pour l'extraction du fer en grand, ne pourrait opérer dans les creusets une séparation complète des scories d'avec le métal. Voilà ce qui jette tant d'incertitude sur les essais des fondans exécutés en petit: on ne parvient de cette manière qu'à des résultats vagues, lorsqu'il s'agit de déterminer la nature et la quantité des matières stériles, qu'il faut mêler avec le minérai qu'on

veut traiter dans les hauts fourneaux; et quand bien même le degré de chaleur serait égal de part et d'autre, il faudrait encore avoir égard à l'effet produit par la différence des masses.

323. La manière de lotir le minérai, de le prendre sur le tas pour que l'échantillon ne soit ni trop riche ni trop pauvre, de le pulvériser dans des mortiers de fonte, de le passer au tamis, de le peser, etc., sont des choses connues. Nous faisons observer seulement que, préparé de cette façon, il doit être séché d'abord à la chaleur de l'ébullition et calciné ensuite jusqu'au rouge sur un test couvert. La perte qu'il éprouve par la dessication indique la quantité d'eau dont il était imbibé; celle qui résulte du grillage provient de l'eau combinée avec le fer, et de l'acide carbonique. Il ne faut donc peser les minérais qu'après les avoir desséchés. Le but de la calcination est d'empêcher pendant la réduction, l'effervescence occasionnée par le dégagement des gaz.

324. On peut opérer la fusion dans des creusets de graphite, ou, par économie, dans des creusets communs fabriqués avec de l'argile réfractaire, et brasqués ensuite selon la méthode ordinaire. La poussière de charbon employée pour la brasque, doit être très-fine et délayée dans l'eau pure, à laquelle on ajoute un peu de gomme. On fait une petite cavité dans cette matière : ce serait un procédé vicieux que de vouloir consolider les parois du creux avec un enduit composé de trois parties de poussière de charbon et d'une d'argile, parce que la présence de cette terre doit modifier les résultats. Le minérai et le flux sont placés dans la cavité; on les recouvre de poussière de charbon; le creuset est fermé avec un couvercle d'argile; c'est ordinairement le fond d'un vieux creuset qu'on ajoute

à l'autre; on lute ensuite avec de la terre grasse, afin d'empêcher le contact de l'air extérieur.

La fusion du minérai se fait soit devant la tuyère d'un feu de forge, soit dans un fourneau à vent : dans le premier cas, il y a économie de charbon, parce qu'on peut resserrer le foyer. Mais il est rare qu'en faisant plusieurs essais à la fois, tous les résultats soient d'accord; on ne parvient pas toujours à appliquer aux creusets le même degré de chaleur. Le courant d'air doit frapper principalement à la hauteur où se loge le culot, et la température doit s'élever par degrés. L'opération est terminée dans une demi-heure ou trois quarts d'heure, selon l'effet que produisent les soufflets.

En employant le fourneau à vent, on doit aussi augmenter la chaleur progressivement, et renforcer le tirage par des hausses placées sur la cheminée, si le cas l'exige. Quelquefois on est obligé d'ajouter pendant l'opération, du combustible frais, ce qui doit s'effectuer avant que l'autre soit descendu très-bas. Le coke est préférable au charbon de bois, parce qu'il développe une plus grande quantité de calorique. On peut faire plus d'essais à la fois dans les fourneaux que dans les feux de forge, et les creusets reçoivent dans les premiers un degré de température plus uniforme. Ceux-ci se placent sur des supports d'argile, disposés sur la grille, afin que leur partie inférieure ne soit pas trop soumise aux variations de température. Cependant, pour que la chaleur la plus forte ne soit point perdue, ces supports ne doivent pas être trop épais. Lorsque l'opération est achevée, et que le régule est séparé des scories, on le pèse.

La fonte obtenue dans les essais est d'autant plus

grise, que la température est plus élevée. Une faible chaleur donne de la fonte blanche et des scories chargées de métal. On ne peut donc juger, à l'inspection du régule, de la nature du fer que le minérai peut produire.

325. Le choix des flux est aussi important que la graduation de la température. On ne doit pas trop craindre d'augmenter la liquidité des scories; lorsqu'elles sont trop épaisses, on perd toujours plusieurs centièmes de métal. Avec un degré de chaleur proportionné à la nature des minérais, il serait peut-être possible de les réduire tous à l'aide de la poussière de charbon, et sans employer de flux; mais nos moyens sont, sous ce rapport, circonscrits dans des limites trop étroites.

Il existe beaucoup de minérais qui, traités avec la poussière de charbon seule, ne peuvent entrer en liquéfaction, et d'autres qui rendent dix pour cent de fer de moins, que si on les fondait avec un flux convenable. On est même obligé, quand la dose du minérai est un peu forte, de le mélanger intimement avec l'une et l'autre de ces substances. M. Tiemann a remarqué une grande différence dans les résultats obtenus en le stratifiant avec la poussière de charbon, ou en faisant un mélange de toutes les matières. Une très-forte température peut détruire les obstacles opposés à la réduction; si cependant les couches de charbon sont épaisses, le fer réduit, au lieu de se rassembler en une seule masse, forme plusieurs culots séparés.

326. C'est Gadolin qui étudia avec le plus de soin et le plus de succès l'effet des divers flux sur les oxides de fer: il remarqua que toutes les substances susceptibles de se vitrifier, dissolvent le fer oxidé; qu'il existe par conséquent entre elles et celui-ci, une certaine at-

traction agissant en sens inverse de la réduction. Si donc un flux est doué d'une très-forte affinité pour l'oxide, il peut contrebalancer toutes les forces qui tendent à réduire le minérai. Pour déterminer sous ce rapport l'effet des flux, soit très-fusibles, soit difficiles à fondre, il fit une série d'expériences à la température de 166° de Wedgwood; il en résulte :

1°. Que toutes les terres ou sels fusibles ou réfractaires, le borax excepté, agissent contre la réduction, en ce que leur présence nécessite un degré de chaleur plus considérable, que si *l'oxide pur* était fondu sans aucune addition;

2°. Que les essais sans flux, quand les minérais ne contiennent pas assez de terres pour leur servir de fondans, donnent des résultats incertains et un produit plus faible qu'avec un flux convenable; parce que les parties de métal éparses, lorsqu'elles ne sont point enveloppées et rassemblées par les scories, se chargent de carbone, sont converties en graphite et perdues dans la poussière;

3°. Que l'huile de lin, mêlée avec les minérais pauvres, produit des grains de métal disséminés;

4°. Que la chaux, la magnésie et la silice, prises chacune isolément, ne retardent pas la réduction, parce qu'elles ne peuvent entrer en liquéfaction avec l'oxide;

5°. Que la présence de ces terres ou de toute autre substance réfractaire, nuit cependant au succès de l'épreuve, parce qu'elle empêche la formation du culot;

6°. Que la magnésie, sous ce rapport, est plus nuisible que toutes les autres, parce qu'elle est extrêmement réfractaire;

7°. Que la barite ou l'alumine, prises séparément, ne peuvent empêcher la formation du culot, lorsque la chaleur est poussée à un haut degré;

8°. Que les terres réfractaires qui donnent des scories épaisses, comme la barite et le spath fluor pris isolément, ou le mélange de chaux et d'alumine, enveloppent l'oxide et le préservent de l'influence du carbone : on obtient par conséquent du fer malléable qui ne peut se fondre ni se former en culot ; cet obstacle va en diminuant avec la quantité de ce flux et à mesure que l'on augmente le degré de chaleur ;

9°. Qu'avec des fondans dont le verre, quoique moins visqueux, ne jouit pas d'une assez grande fluidité, on obtient encore du fer en grenaille, et l'on perd une petite quantité d'oxide entraînée dans les scories ;

10°. Que les substances très-fusibles, comme les alkalis, le sel marin, etc., enduisent le fer d'une couche vitreuse avant qu'il soit désoxidé ; parce qu'elles se liquéfient tout de suite, ce qui est un obstacle à la réduction : on le fait disparaître en employant une plus faible dose de ces matières, en les faisant évaporer à une chaleur prolongée, enfin en substituant le protoxide au peroxide ;

11°. Que l'on peut corriger les flux qui sont trop fusibles en les imbibant d'huile de lin ;

12°. Que le sel marin prédispose les autres flux à absorber l'oxide ;

13°. Que le gypse ou sulfate de chaux, produit un mauvais effet, quoiqu'à un moindre degré que les sulfates alkalins, et qu'il attaque quelquefois le creuset ;

14°. Que l'on diminue l'influence nuisible du gypse par une addition d'autres terres, susceptibles de l'entraîner en vitrification ; que pour la réduction du protoxide, la présence de l'acide sulfurique est moins désavantageuse à la quantité qu'à la qualité du produit ;

15°. Que les cendres d'os mêlées avec des substances qui les vitrifient, ne peuvent empêcher la réduction, mais qu'elles rendent le fer cassant à froid, et augmentent le poids du régule, à cause du phosphore qui est absorbé;

16°. Que les oxides métalliques qui se réduisent facilement, mais dont les métaux n'ont pas une grande affinité pour le fer, nuisent aux essais; que pour cette raison, il faut user de beaucoup de ménagement, lorsqu'au moyen de la litharge, on veut rendre fusible une gangue réfractaire;

17°. Que les oxides métalliques difficilement réductibles, mais dont les métaux peuvent s'allier au fer avec facilité, comme l'antimoine et le manganèse, sont désoxidés en même temps que le fer, et font partie du culot; à moins que le flux, doué d'une grande affinité pour ces oxides, ne les entraîne en vitrification.

327. Si maintenant on applique ces faits aux essais par la voie sèche, il en résulte qu'on doit éviter les flux alkalins et n'employer que des substances qui donnent avec les terres contenues dans les minérais, des laitiers d'une consistance moyenne. Les minérais riches se traiteront avantageusement avec une addition de dix pour cent de spath fluor et une égale dose de borax calciné. S'ils contiennent une plus grande quantité de terres, leur flux pourra se composer de 25 pour cent de spath fluor et d'autant de chaux pure. Lorsqu'ils sont très-pauvres, il faut ajouter à ces matières encore dix pour cent de borax calciné. Si cependant ils contiennent beaucoup de chaux, on emploiera 25 pour cent de quartz et autant de spath fluor.

Le degré de chaleur employé pour la fusion doit être en rapport avec la dureté du minérai, avec la

difficulté qu'on éprouve à le briser et à le convertir en poussière. Nous avons remarqué déjà que, si les scories se réduisent difficilement, on ne doit l'attribuer qu'à leur état de vitrification : c'est peut-être pour une raison semblable, que le fer spéculaire est moins réductible que l'hématite rouge.

Schlütter, Cramer, Gellert et tous les anciens métallurgistes, recommandent particulièrement les flux noirs et les blancs, composés en différentes proportions, de tartre, de salpêtre, de verre pulvérisé, etc. D'après les expériences de Gadolin, ils conduisent souvent à des résultats incertains et erronés. Guyton-Morveau propose 16 parties de verre pilé non métallique, 2 de borax calciné et 1 de poussière de charbon; Kirwan, 5 parties de chaux, 5 de spath fluor et 4 de poussière de charbon; M. Chaptal, 20 parties de borax calciné, 2 de chaux et 10 de salpêtre. Bergmann ne fit usage que de borax calciné; ce flux suffit pour le traitement des minérais non réfractaires.

DE L'EXTRACTION ET DE LA PRÉPARATION DES MINÉRAIS.

328. Aucun métal ne se trouve répandu dans la nature avec autant de profusion que le fer; il appartient aux formations anciennes et modernes. Dans les terrains primitifs et de transition, il est en *filons*, en *masses* et en *couches*; dans les terrains secondaires, on le trouve en couches plus ou moins régulières; dans les terrains d'alluvion, il se présente en *amas* et en *rognons*.

Le bas prix du fer et l'immense consommation de minérais qu'exige aujourd'hui le développement qu'il faut donner à la préparation de ce métal, pour en

retirer des bénéfices, s'opposent souvent au traitement des minérais qu'on découvre; il ne suffit point d'en connaître la richesse moyenne, on doit s'assurer encore des frais d'exploitation de la mine et des ressources qu'elle présente pour l'avenir. Il est d'une haute importance de porter dans cette branche de la sidérurgie, une stricte économie : le fer ne peut supporter les frais considérables qu'entraînerait un plan d'opération, ordonné selon les principes de l'art, pour les travaux d'arrachement, l'épuisement des eaux, la construction des galeries; on serait forcé quelquefois d'abandonner les mines, s'il n'était possible de les exploiter autrement que par des méthodes régulières.

Observons toutefois, que la régularité dans les travaux diminue toujours les dépenses; mais vouloir arriver à une exploitation parfaite sans laisser de minérai en arrière, comme on le fait pour d'autres métaux, ce serait tellement multiplier les dépenses, que beaucoup d'usines y perdraient leurs bénéfices. Nous distinguons ici une opération conduite avec ordre et prévoyance, des procédés généraux prescrits et suivis dans l'art d'exploiter les mines, où il s'agit moins d'éviter les frais que de se procurer tout le minérai renfermé dans les filons, masses, amas ou couches. Si, avec les règles de l'économie, on pouvait concilier une semblable rigueur, on ne ferait qu'ajouter à la perfection du travail. La manière de procéder dépend aussi de la richesse des minérais; lorsqu'ils contiennent beaucoup de fer, on peut et l'on doit apporter plus de scrupule dans ces opérations.

329. Les minérais qui, dans les roches primitives, se présentent en filons, ne peuvent faire l'objet d'une ex-

ploitation que dans le cas où ces filons ont une certaine puissance et que la forme du terrain facilite l'épuisement des eaux : ce sont, le plus fréquemment, les amas ou les couches qu'on exploite. Le mineur est souvent obligé de recourir dans son travail, à l'effet de la poudre et du feu. La routine et les localités déterminent sa manière d'opérer; quelquefois, aussi, c'est avec raison qu'il néglige les méthodes régulières : lorsqu'il s'agit, par exemple, d'attendrir le minérai par le contact de l'air atmosphérique.

330. Les travaux d'arrachement s'effectuent dans les roches secondaires, au moyen du pic, du marteau et de la pince; on laisse subsister des piliers, des supports séparés l'un de l'autre par des rameaux plus ou moins réguliers. A mesure qu'on se replie sur les puits, on enlève les piliers les plus éloignés : ce procédé doit s'employer lorsque les couches ont une certaine étendue et que leur toit est assez solide pour ne point exiger un boisage régulier. Le travail à ciel ouvert, pour les mines qui sont près de la surface du sol, est beaucoup plus économique.

Dans un terrain d'alluvion, ou pour des minérais disposés en rognons, on ne pourrait, sans beaucoup de dépenses, suivre le mode d'exploitation par piliers. Dans ce cas, on creuse plusieurs puits à peu de distance l'un de l'autre; on fait partir de leur centre, de petits rameaux et l'on extrait tout le minérai qui est à l'entour. Cette manière d'opérer ne présente aucune difficulté, pour des amas d'une certaine puissance ou pour des mines situées à une faible profondeur. Elle devient plus facile encore, lorsqu'on peut y joindre l'exploitation à ciel ouvert; mais si le contraire a lieu, et que l'épuisement de l'eau occasionne de trop fortes dépenses,

on est souvent obligé d'abandonner les meilleurs minérais, lorsqu'ils sont à une grande profondeur et que le terrain manque de consistance. On ne pourrait alors établir des puits principaux sur la direction du gisement et les joindre par une galerie boisée. Une pareille disposition n'est applicable que dans le cas où la mine se prolonge au loin, de sorte que cette galerie peut servir à la fois comme galerie d'écoulement et comme ligne d'opération d'où l'on fait partir des rameaux. La qualité et la richesse du minérai, la profondeur de son gîte, le prix des matières premières et de la main-d'œuvre, l'affluence de l'eau et d'autres circonstances, décideront si l'on peut opérer d'une manière aussi régulière, ou si l'on doit se contenter d'enlever une partie des amas et d'abandonner le reste.

331. La nature des terrains, dans les trois premiers ordres, indique presque toujours l'existence de la mine. C'est au moyen de coupures et de puits que l'on juge ensuite si elle est susceptible d'exploitation. Il est plus difficile de la trouver lorsqu'elle n'est point couverte par le roc; dans ces cas, on fait des fouilles : quelquefois, il suffit d'employer une sonde sans cuiller. C'est avec une broche de cette espèce qu'on va à la recherche des fers limoneux. La résistance qu'éprouve le mineur dans la manœuvre de la sonde est un indice de la présence du minérai. Ce procédé, recommandable par une grande simplicité, sert aussi à découvrir quelquefois les fers argileux.

332. Les préparations mécaniques dont on fait usage pour séparer la gangue des minérais de fer, sont plus simples que celles des autres minérais : elles consistent uniquement dans un triage à la main, qui, pour raison d'économie, ne doit pas être très-compli-

qué. Le bocardage ne conduirait pas à ce but, soit parce que les matières stériles ou nuisibles ne pourraient que rarement être éloignées de cette manière, soit aussi parce que les minérais pulvérisés ne seraient point sous une forme convenable pour être traités avec avantage dans les hauts fourneaux. On doit tâcher par conséquent qu'ils soient dans l'état de plus grande pureté possible en sortant des mines, dût-on quelquefois en perdre une certaine quantité. Malgré cela, on fait souvent encore près des haldes *, le triage à la main, pour rejeter les pierres ou les parties pyriteuses; à cet effet, on les casse en petits morceaux, afin de les examiner dans leur intérieur.

Si la gangue exposée à l'air devient plus tendre et finit par se détacher, on profite de cet avantage, principalement pour les fers argileux. Car l'argile molle et la schisteuse adhèrent si intimement à l'oxide, qu'on ne pourrait les en séparer par le triage qu'avec des frais considérables; ce sont particulièrement les minérais pénétrés d'argile schisteuse qui doivent faire un long séjour près des haldes.

333. Le lavage n'a lieu que pour les fers limoneux et pour les minérais qui, dans leur gîte, sont couverts de terre grasse. Cette opération enlève aux ocres les parties les plus fines et les plus fusibles; elle nuit à leur qualité, sans améliorer celle des minérais durs et solides. On tâche de l'éviter, même pour les fers limoneux, lorsqu'ils contiennent une grande quantité d'hydrates,

* On entend en allemand par le mot *halde*, le lieu où le minérai est déposé pour subir l'opération du triage et de la décomposition spontanée; ce mot a été francisé et détourné de sa véritable acception : il ne signifie plus que les tas de minérais rebutés.

Le T.

quoique leur gissement et leur forme extérieure la rendent presque toujours indispensable. Ellc se pratique ordinairement sur les lieux mêmes de leur extraction.

Le triage, le lavage, le séjour à l'air servent donc à préparer les minérais, avant qu'ils soient livrés aux usines.

Du grillage et du bocardage.

334. La première opération que l'on fait subir au minérai dans les usines, c'est le *grillage*. Les raisons qui l'exigent, ont été exposées ci-dessus, aux paragraphes 300, 311. Il n'y a que les minérais tendres et non pierreux qui n'en ont pas besoin; mais on doit les conserver à couvert, sous des hangars, ou les sécher avant de les employer, afin de ne pas introduire dans les hauts fourneaux, l'eau qu'ils absorbent par leur séjour à l'air humide. Cette précaution devient indispensable dans les temps de pluie. Les minérais grillés, lorsqu'ils ne sont pas fondus tout de suite, doivent être soignés de la même manière.

335. Les fers spathiques, les minérais hydratés et pyriteux, sont les seuls dont le grillage ait pour but de chasser une de leurs parties composantes; il ne doit servir ordinairement qu'à augmenter leur porosité et affaiblir leur cohésion. Les morceaux qu'on veut griller ne doivent pas être trop volumineux, autrement ils conserveraient un noyau cru, qui, pour participer à l'altération qu'on a en vue de produire, exigerait un degré de chaleur assez élevé pour faire entrer les parties extérieures en vitrification (303, 327). Le volume convenable dépend de la nature même des miné-

rais, mais il ne doit jamais excéder celui de 30 décimètres cubes.

336. On ne devrait pas griller les minérais pyriteux, avec ceux qui ne sont point souillés de soufre, parce que l'acide sulfurique à mesure qu'il se formerait, pénétrerait toute la masse. La chaleur doit se graduer en général, d'après la composition et la dureté de ces substances minérales. Elle doit être faible pour les oxides purs, ainsi que pour ceux qui, mélangés d'une petite quantité de terre, se vitrifieraient à la température qu'il faut souvent appliquer aux fers argileux. Le contact de l'air, indispensable seulement pour le grillage des minérais pyriteux, agit sur le protoxide dont une partie se change en peroxide; mais ceci n'est qu'une chose accessoire, car l'eau et l'acide carbonique se dégagent sans la présence de l'air, et la chaleur seule suffit d'ailleurs pour diminuer la force de cohésion.

La perte que les minérais éprouvent par la calcination, dépend de la quantité d'acide carbonique et d'eau qu'ils retiennent à l'état de combinaison et de mélange. Le fer magnétique augmente en poids de 2 ou 3 pour cent, parce qu'il passe à un plus haut degré d'oxidation.

337. Le grillage se fait à l'air libre ou dans une enceinte de maçonnerie ou dans un fourneau : le premier de ces procédés est simple, mais défectueux. Après avoir aplani le sol, on le couvre de combustible (ordinairement de troncs d'arbres), sur ce gîte, on entasse par couches alternatives, le minérai et le bois consistant ordinairement en branchages ou en copeaux; souvent aussi on le remplace par la charbonnaille *. L'épaisseur

* Menu charbon, plus gros cependant que le fraisil qui est en poussière. Le T.

de ces couches dépend de la qualité du combustible et du degré de chaleur que les minérais peuvent supporter, sans entrer en vitrification : on ne peut donc s'en rapporter qu'à l'expérience *. La hauteur et le diamètre d'un semblable tas sont assez indifférens ; lorsqu'il est volumineux, il présente cependant une certaine économie de combustible.

On stratifie les minérais qu'on veut faire sécher, seulement avec de gros fraisil, et l'on y joint un peu de branchages, pour ménager des jours dans l'intérieur de la masse et pour ne pas étouffer le feu.

338. L'emplacement où l'on veut griller les minérais, se ferme en partie par un mur, qu'on élève sur les trois faces les plus exposées au courant d'air, pour économiser le combustible, pour être à même de conduire l'opération avec une plus grande régularité, pour donner un degré de chaleur plus uniforme; afin que les minérais tournés au vent ne se vitrifient point avant que la cuisson des autres soit terminée. Le sol de cette enceinte est pavé; on le couvre de branchages ou de copeaux, et l'on y dispose les minérais et le combustible comme précédemment. Dans certains endroits, on élève aussi un mur sur le quatrième côté.

On tâche de construire ces aires fermées sur un terrain en pente, afin d'en faciliter le chargement; cependant le sol doit toujours être horizontal. Les murs ont quelquefois 10 à 12 pieds d'élévation. Dans une des quatre faces, on pratique une porte qui est murée après la mise en feu : c'est par cette ouverture

---

* Les premières couches de minérai ont 18 à 20° d'épaisseur; les autres vont en diminuant. Sidérotechnie d'Hassenfratz.

Le T.

qu'on entre dans l'enceinte, soit pour y arranger les premières couches, soit pour en retirer les minérais grillés.

On doit établir des courans d'air et activer la combustion, si les minérais sont réfractaires ou imprégnés de soufre; en ce cas il faut pratiquer des ouvertures dans les quatre faces; c'est en même temps un moyen de conduire le feu, parce qu'on peut les fermer à volonté. Il serait inutile de parler de la forme des aires; elle est indifférente : on peut les faire rondes ou carrées.

Le combustible brûlé dans ces enceintes est d'ordinaire le charbon de bois. Le grillage dure 8 jours et davantage; on peut allumer par le haut, vers le milieu ou par le bas. Les morceaux de minérais les plus gros doivent être placés dans la première couche; les plus petits dans celles qui sont plus élevées, et la partie supérieure est couverte de greillade (poussière de minérais grillés déjà). Si le sol est humide, il faut y remédier par des canaux d'évaporation.

On établit quelquefois sur une seule ligne plusieurs enceintes, séparées seulement par une de leurs faces. On ferait mieux de n'en avoir que deux et d'augmenter leur capacité : l'une d'elles serait mise en feu pendant qu'on s'occuperait à vider l'autre; il en résulterait une économie *.

339. Les fourneaux à cuve ou les fours à reverbère qui servent à griller le minérai, sont moins usités que les enceintes; cependant ils présentent un certain

---

* Nous n'avons pas donné des dessins de ces enceintes, parce que leur forme est très-simple et qu'on en trouve d'ailleurs dans la Sidérotechnie de M. Hassenfratz, t. 1, page 165.

Le T.

avantage, lorsqu'ils sont construits de manière qu'on puisse enlever le minérai par le fond, charger de nouveau et continuer le travail sans interruption. Ces fourneaux activés avec le coke ou de petits charbons, ressemblent aux fours à chaux, pl. 1, fig. 1 *. En Silésie, dans les usines du Roi de Prusse, on leur donne $4^m,71$ d'élévation, $2^m,04$ de diamètre à leur partie supérieure, $2^m,35$ à leur plus grande largeur, et $0^m,63$ près de la grille. On retire les minérais par des ouvertures pratiquées sur deux faces opposées et fermées avec des briques pendant toute la durée de l'opération. Pour augmenter la combustibilité des petits cokes, on leur ajoute un tiers de menue houille. On use d'un sixième à un cinquième d'une mesure de ce mélange, contenant 86 décimètres cubes, pour griller 161 kilogrammes ou 108 décimètres cubes de minérais.

Au premier chargement du fourneau, on place sur la grille un peu de branchages et de houille en gros morceaux; la cuve est remplie ensuite avec le combustible et le minérai, disposés par couches alternatives. On allume le bois placé sur la grille, et le feu se communique à toute la masse. Lorsqu'après une combustion lente, au bout de 24 heures, le minérai grillé commence à descendre, on le retire par les deux ouvertures dont il a été question. Ce travail continue jusqu'à ce qu'il se présente des fragmens au centre desquels la calcination n'ait pas pénétré; alors on ferme ces ouvertures, et on remplit le fourneau une seconde fois avec du minérai et du charbon. Après 12 heures,

* Cette figure ne se trouve pas dans l'original; nous n'avons même pu la construire qu'en demandant à M. Karsten, des renseignemens plus détaillés sur la forme de ces fourneaux.

Le T.

on procède à une deuxième évacuation, et ainsi de suite. Le fourneau se vide chaque fois par moitié, et l'opération n'est jamais intérrompue. La combustion doit être lente, ainsi que nous l'avons observé. Le tirage se fait par la grille : la porte du cendrier ne doit pas être très spacieuse ; et les barreaux sont séparés par de petits intervalles.

340. Dans les fours à reverbére, le minérai n'est point en contact avec le combustible ; il reçoit le degré de chaleur qui lui est nécessaire par la flamme d'une ou de plusieurs chauffes, selon la grandeur de la sole. On ne peut donc activer ces foyers qu'avec le bois, la houille ou la tourbe en nature. Il ne faut pas craindre que le minérai puisse être vicié par la flamme de ces substances ; mais le soufre contenu dans les pyrites, ne se dégage pas avec autant de facilité, que par le grillage à l'air libre ou dans les enceintes.

Ces fours à reverbère ont beaucoup d'analogie avec les fourneaux employés pour la fabrication de la porcelaine, ou de la poterie, lorsque cette dernière est cuite avec la houille. On peut leur donner deux ou trois soles et faire les dispositions nécessaires pour alimenter la combustion avec le bois ou le charbon de terre. On fait évacuer les minérais comme dans le cas précédent ; l'opération doit cesser lorsqu'il s'en trouve qui n'ont pas été grillés suffisamment *.

C'est une règle générale, quelle que soit la méthode suivie, qu'il faut toujours griller une seconde fois les minérais qui n'ont pas subi une altération complète.

---

* Le fourneau de grillage qui sert au Creusot et à Vienne, est activé aussi par un feu de flamme, bien que ce soit un fourneau à cuve (pl. 1, fig. 2 et 3e.). Il est construit en briques, sa hauteur est de $5^{m},52$, et sa forme est celle d'un tronc de cône placé

341. Après avoir affaibli la cohésion dans les minérais, il est facile de les concasser. Nous avons exposé précédemment les motifs de cette opération (310). La gangue qu'ils peuvent retenir encore s'en détache maintenant avec beaucoup de facilité; elle peut occasionner un déchet considérable, mais il est essentiel de l'éloigner de la fusion, par le triage le plus rigoureux.

On brise ces minérais avec le marteau à main, avec un pilon fixé à l'une des extrémités d'un balancier et mis en mouvement à bras d'homme, ou au moyen de bocards mus par une machine. Le travail à bras d'homme est dispendieux, mais il permet un triage plus soigné. Le cassage se fait sur une plaque de fonte garnie d'un cadre en bois, qui sert à retenir les éclats. Les minérais durs sont concassés à l'aide d'un marteau à queue, qui ressemble aux martinets ordinaires; à l'aide de bocards mus par une roue hydraulique, par la vapeur ou des forces animales; enfin à l'aide de cylindres de fer: mais, lorsque les hauts fourneaux ont une grande élévation, on doit craindre de pousser cette division mécanique au-delà de certaines limites.

---

sur sa grande base. C'est le vide intérieur qu'on remplit de minérais; *a*, *a*, *a*, sont des grilles qu'on charge de houille; *b*, *b*, *b*, des ouvertures par lesquelles on retire le minérai grillé; *k*, un petit cône en fonte, placé au centre et dont le but est de renvoyer les minérais vers les portes *b*, *b*, *b*. Les chauffes communiquent avec l'intérieur V, par des rampans O.

Quatre heures après la mise en feu, on peut commencer à tirer du minérai grillé; on remplit ensuite le vide qui en résulte au gueulard, avec du minérai cru, de manière que le travail continue sans interruption.

Annales des mines, t. 5, page 391.

Le T.

DES FONDANS.

342. Nous avons exposé précédemment (313—317) le but et l'utilité des fondans. Il serait possible de réduire sans flux, les minérais même les plus réfractaires ; mais il faudrait produire un degré de chaleur extrême et l'on n'y parviendrait qu'avec une perte considérable. Si les minérais étaient riches, il se formerait dans l'ouvrage des masses de fer demi-affiné ; dans le cas contraire, on produirait une grande quantité de scories corrosives * ; mais dans l'un et l'autre cas, on pourrait obtenir de la fonte grise, à moins que la présence du manganèse n'y mît un obstacle insurmontable. Sans compter le déchet en métal, il résulterait d'un procédé de cette nature, une foule d'inconvéniens. La fonte demi-affinée et les scories corrosives, maintiendraient le fourneau dans un danger continuel, qui deviendrait éminent par une diminution de température.

Parmi les causes nombreuses qui peuvent occasionner un refroidissement du foyer, on doit distinguer sur-tout ces laitiers corrosifs qui viennent obstruer la tuyère. Alors les minérais ne se fondent plus qu'imparfaitement ; ils descendent par morceaux, dans le creuset, comme si le fourneau en était surchargé ; la fonte est blanche, les scories sont noires et saturées de métal.

* Lorsque le degré de chaleur n'est pas assez élevé pour produire une liquéfaction parfaite, ou lorsque les oxides terreux ne se trouvent pas en proportion convenable pour leur vitrification, les scories sont corrosives. Il paraît donc que les flux, en les saturant pour un degré de température donné, en neutralisent l'action sur d'autres substances, et les empêchent d'absorber une si grande quantité de protoxide de fer, et d'attaquer les pierres de l'ouvrage.
Le T.

C'est pour cette raison que les minérais riches et réfractaires ne peuvent être introduits dans le fourneau que par petites charges, afin que la température soit maintenue toujours à un haut degré.

Les flux sont donc essentiellement utiles; ils facilitent la séparation des matières étrangères et rompent la force du lien qui attache l'oxigène au fer, dans la combinaison de l'oxide, avec les substances terreuses. Lorsque celles-ci sont très-réfractaires, l'oxide se divise en deux parties, l'une est réduite et l'autre se combine avec les terres pour les faire entrer en vitrification *. Une faible chaleur augmente les difficultés, et retarde la séparation du fer d'avec les matières étrangères; c'est pour cette raison qu'on ne peut obtenir que de la fonte blanche.

343. Il en résulte que chaque minérai demande un fondant particulier, en dose déterminée. C'est en vertu de çe principe, que les métallurgistes ont désigné les minérais sous les noms de fer argileux, siliceux et calcaire. Le carbonate de chaux est ordinairement le flux employé pour les deux premiers. On fait usage du quartz, mais le plus souvent d'une marne très-argileuse, quelquefois aussi d'une argile schisteuse, pour ceux dont la terre dominante est la chaux ou la magnésie. La quantité des flux ne peut être réglée que par l'expérience.

Il est assez vraisemblable que dans le choix des fon-

---

* L'affinité du carbone pour l'oxigène doit lutter alors, non-seulement contre celle du métal pour ce fluide, mais aussi contre l'attraction qui existe entre l'oxide de fer et les oxides terreux; c'est pour cela que la réduction est imparfaite. Voyez les expériences de Gadolin, page 313 et suivantes.

Le T.

dans, on manque souvent de lumières et de prévoyance, puisqu'on y fait entrer la chaux presque toujours comme partie essentielle.

344. On doit éviter l'emploi du carbonate de chaux, mélangé de gypse ou imprégné de pyrites. Il faut le brûler lorsqu'il est bitumineux, sans cela il rendrait le fer rouverin : on en ignore la cause. Quand il est pur, la calcination devient superflue et même nuisible, parce qu'il se vitrifie avec moins de facilité après avoir été cuit trop fortement, jusqu'au point de former une espèce d'aglutination. On croit même qu'en général la chaux est moins bonne comme fondant, que la pierre calcaire ; mais cette opinion n'est exacte que lorsque, dans les petits fourneaux, on veut employer de la chaux qui a subi un degré de chaleur trop élevé.

Le carbonate de chaux mélangé d'une grande quantité d'argile, d'oxide de fer ou de silex, constituerait un mauvais fondant pour les fers argileux et siliceux ; trop fusible par lui-même, il ne pourrait plus absorber une assez grande quantité de terres, et devrait être employé en trop forte dose. Il passe à la marne, si l'argile est dominante ; dans ce cas, il ne doit servir que pour les minérais calcaires et magnésiens. On voit d'après cela, qu'il existe des pierres marno-calcaires, qui, pour aucune espèce de minérais, ne doivent servir de fondans.

345. Ces substances concassées en morceaux dont la grosseur est tout au plus égale à celle des minérais, sont mêlées avec ces derniers. On peut employer des fragmens plus volumineux en traitant des hydrates friables, qui, par leur tassement, ferment le passage à l'air. On les brise à la main, sous un marteau à bascule, ou sous le bocard ; le deuxième moyen est préférable

au dernier, parce que l'ouvrier est plus maître de conduire le travail et de réduire les matières à une grosseur déterminée.

346. Sans compter la pierre à chaux, l'argile, le quartz et la marne, dont l'emploi demande beaucoup de circonspection, il existe d'autres minéraux qu'on ne range pas précisément parmi les fondans, et qui pourtant accélèrent la fusion des minérais de fer, en même temps qu'ils augmentent la quantité des produits; tels sont le hornblende, le basalte, le wakke et le grénat *. Ils peuvent quelquefois remplacer les flux et ils exercent toujours une influence salutaire sur la marche du fourneau.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA RÉDUCTION DES MINÉRAIS DE FER.

347. Lorsqu'on veut réduire les minérais en petit, il suffit de les mêler avec de la poussière de charbon et de les exposer dans un creuset à une haute température. Cette méthode serait trop dispendieuse pour leur traitement en grand. On les soumet donc à l'action immédiate de la chaleur; ce qui, en général, peut s'exécuter de deux manières différentes : dans les fours à reverbère ou dans les fourneaux à cuve.

Le premier moyen exige la présence d'un réactif, qui puisse enlever l'oxigène que le fer retient avec tant d'énergie. Il n'est praticable que pour des oxides métalliques très-réductibles et qui possèdent une certaine fixité : le réactif serait brûlé bien avant que les minérais de fer ne fussent entrés en fusion.

* L'amphibole, le basalte, la cornéenne et le grénat. Haüy. Le T.

On les charge donc avec le combustible, par couches alternatives, dans un fourneau à cuve. La réduction s'effectue ensuite, soit par leur contact immédiat avec les charbons embrasés, soit parce qu'ils n'arrivent dans les régions où ils doivent se fondre, que par petites doses; tandis que dans les fours à reverbère, toute la masse est soumise en même temps à la chaleur de la fusion. La quantité de minérais qui entre à la fois en liquéfaction, est en rapport direct avec la capacité du fourneau.

348. Ne connaissant pas les moyens de produire un haut degré de chaleur, les anciens ne pouvaient utiliser les minérais réfractaires et difficilement réductibles. Nous ignorons si, d'après leurs méthodes, les minérais et les charbons étaient placés par couches dans les fourneaux, ou si les deux substances mêlées ensemble, étaient exposées simultanément à l'influence du courant d'air. Suivant le premier de ces procédés, les minérais fondus par petite quantité, peuvent donner un produit liquide, qui se rassemble en masse sur la sole du foyer. D'après le deuxième, la réduction ne se faisant que devant la tuyère, la fonte, en même temps qu'elle se forme, est décarburée et convertie en fer ductile *. Dans les fourneaux à cuve même, le fer

* Lorsqu'on stratifie les minérais avec le charbon, le degré de température doit s'élever plus qu'en les mêlant ensemble; le combustible se trouvant réuni par masse, brûle avec plus de vivacité et dégage une plus forte chaleur. Les minérais portés par des couches de charbon, peuvent et doivent se réduire avant d'arriver devant la tuyère. Le métal traverse le courant d'air avec une certaine rapidité, parce qu'il est très-liquide et que les charbons se consument promptement, les scories qui l'enveloppent le protégent d'ailleurs contre l'influence de l'oxigène: il conserve donc son carbone et reste à l'état de fonte. Il en est autrement lorsqu'on

cru obtenu par les anciens, devait passer en grande partie à l'état d'acier.

349. Les minérais pauvres ou réfractaires, fondus dans de semblables foyers, à un si faible degré de chaleur, ne donneraient point de fer : et si la réduction pouvait s'opérer partiellement, on n'obtiendrait qu'un faible produit, qui, d'une très-mauvaise qualité d'ailleurs, se trouverait accompagné de laitiers chargés de métal. Le fer malléable doit toujours son existence au fer cru, puisqu'en même temps que le métal se réduit, il se carbure et se convertit en fonte.

Tant d'opérations diverses qui se succèdent immédiatement, ou qui ont lieu à la fois devant la tuyère, doivent occasionner un déchet considérable. Les méthodes à la catalane ou à l'italienne, que l'on pratique encore aujourd'hui, et qui consistent à fondre les minérais par morceaux devant la tuyère, pour en obtenir du fer ou de l'acier, en fournissent la preuve : il en sera question par la suite. Traités de cette manière, les minérais pauvres subiraient un déchet plus considérable encore. On peut admettre en général que la perte est proportionnelle à la difficulté de la réduction; parce qu'à une chaleur faible, portée sur un seul point, l'oxigène doué de tant d'affinité pour le fer, ne peut en être dégagé aussi complètement que si les minérais, ramollis peu à peu, étaient soumis

---

projette dans le fourneau un mélange de toutes les matières. La chaleur ne peut atteindre alors un aussi haut degré, parce que les charbons séparés par des substances incombustibles ne brûlent pas avec autant d'activité; la réduction se fait dans un petit espace, devant la tuyère, au milieu du courant d'air; le métal y séjourne long-temps; réduit, il se décarbure aussitôt, et le résultat est du fer ou de l'acier avec un déchet considérable.

Le T.

progressivement à des degrés de température plus élevés. C'est pour cette raison que les scories de forge donnent, dans les bas fourneaux, de si faibles produits; c'est aussi pour cette raison que les anciens ne pouvaient traiter que les minérais riches, fusibles et facilement réductibles.

350. La fusion des minérais stratifiés avec les charbons dans les fourneaux à cuve, présente donc un avantage réel. Ce procédé diffère essentiellement de l'affinage immédiat dans les foyers dits *à la catalane*. On serait dans l'erreur en pensant que ceux-ci ont pu donner naissance à ceux-là, et qu'ils ne diffèrent entr'eux que par leur hauteur. Dans l'affinage immédiat, les minérais sont travaillés par morceaux devant la tuyère, pour être réduits et décarburés aussitôt; dans les fourneaux à cuve, ils sont fondus et réduits seulement par l'action du carbone.

On ne pourrait le plus souvent opérer la fusion, si le minérai n'était pas stratifié avec le combustible. On a voulu quelquefois mélanger les deux substances, pour multiplier leurs points de contact et favoriser par conséquent la réduction; mais c'est un moyen d'arrêter le travail, à moins que les minérais, traités d'ailleurs dans de petits fourneaux, ne soient à la fois très-fusibles et dans un état de pureté telle qu'ils ne contiennent que de l'oxigène et du carbone; et dans ce cas on n'obtient, au lieu de fonte, qu'un fer demi-affiné. L'élévation progressive qu'ont reçue les fourneaux à cuve, est une suite naturelle du traitement des minérais pauvres et réfractaires.

351. La diversité d'opinions sur la hauteur qu'il faut donner aux fourneaux à cuve, peut s'expliquer d'après la nature même des minérais. Fusibles, faci-

lement réductibles, non mélangés de substances étrangères, ils peuvent être traités dans des fourneaux à cuve si petits, que le charbon employé suffise à peine pour en opérer la réduction. Anciennement, on ne fondait dans ces foyers que des minérais de cette espèce; la faible chaleur, les fréquentes interruptions, ou plutôt les mises hors journalières, l'air atmosphérique lancé dans la cuve, après que la fusion était terminée; toutes ces causes réunies contribuaient à changer la fonte en fer malléable : ce métal se rassemblait en une masse sur la sole des fourneaux qui reçurent le nom de Stuckoffen (fourneaux à masse).

Bientôt on s'aperçut que ce traitement ne convenait qu'aux minérais les plus riches; que ceux qui retenaient une grande quantité de terres ne pouvaient se réduire complètement, et que la majeure partie du métal était absorbée par les scories. De là, le besoin d'élever la cuve, afin qu'on pût produire un plus haut degré de chaleur et déterminer la vitrification des terres. On vit en même temps la possibilité de continuer le fondage sans interruption, en faisant écouler de temps à autre le fer liquide, avant qu'il ne fût coagulé en une masse pâteuse. Les foyers prirent alors le nom de flussofen ou blauofen, (*fourneaux de fusion*). Ils doivent leur origine aux stuckofen, et dans le principe, ils n'en différaient point sous le rapport de leur hauteur. La seule distinction caractéristique qu'il soit possible d'établir entr'eux, c'est que les flussofen sont plus rétrécis dans la partie inférieure de la cuve, afin que la fonte liquide ne puisse présenter une si grande surface à l'action du courant d'air *. Ils furent substi-

---

* On les rétrécit aussi pour augmenter le degré de chaleur et la liquidité de la fonte. Le T.

tués aux autres, et c'est alors seulement que l'on commença d'en augmenter la hauteur pour des minérais moins fusibles et qui, dans les petits fourneaux, se traitaient avec désavantage.

352. Ce changement des fourneaux à masse en fourneaux de fusion, fut dans le travail du fer, une amélioration des plus importantes. Mais, lorsque les minérais mélangés d'une gangue réfractaire, sont de nature à être traités pour fonte grise, on doit les fondre dans les hauts fourneaux. Ceux-ci proviennent des flussofen; ils en diffèrent pourtant par un plus grand rétrécissement du foyer * et par leur creuset dont une partie est à jour pour faciliter le dégagement des scories; tandis que les fourneaux de fusion entièrement fermés par devant, n'ont qu'une petite ouverture circulaire qu'on débouche pour faire écouler la fonte ou le laitier, et qu'on referme chaque fois, après avoir achevé cette opération.

353. Les scories des hauts fourneaux sont ordinairement plus visqueuses et plus abondantes, que celles qu'on obtient dans les fourneaux de fusion, employés au traitement des minérais riches et facilement réductibles. On doit préférer les flussofen aux hauts fourneaux, lorsque les minérais riches ne sont point mélangés de substances nuisibles à la qualité du fer; mais il faut en rétrécir le foyer. On pourrait même s'en servir pour des minérais riches, dont la gangue serait très-réfractaire, pourvu qu'on leur donnât un foyer resserré et une élévation convenable. Les hauts fourneaux sont toutefois plus commodes, et présentent

* Le mot de foyer dans ce sens doit s'entendre de la partie de la cuve où la chaleur est la plus forte, des environs de la tuyère.

Le T.

plus de facilité pour l'écoulement des scories. Ils sont en usage pour le traitement de tous les minérais pauvres et réfractaires.

Si donc l'emploi des flussofen de moyenne grandeur devient impraticable, on ne doit en augmenter la hauteur, que dans le cas où il est impossible de faire un mélange de minérais riches et pauvres. Lorsqu'on peut les assortir, il vaut beaucoup mieux les fondre dans les hauts fourneaux; ce qui doit d'ailleurs se pratiquer pour tous les minérais donnant du fer rouverin ou cassant à froid; soit que ces vices proviennent de leur gangue, soit qu'ils résultent de leurs parties composantes, ou des cendres du combustible: ce dernier cas peut avoir lieu quand on les traite au charbon de houille.

354. Si une trop forte élévation des hauts fourneaux, peut devenir nuisible, on n'en doit chercher la raison que dans un effet purement mécanique; parce que la colonne des matières contenues dans la cuve, peut, lorsqu'elle pèse avec beaucoup de force sur les couches inférieures, fermer le passage au vent.

Cette compression produit un effet très-sensible, si les minérais sont friables, susceptibles alors de se tasser fortement, et d'obstruer le passage à l'air, surtout quand on les traite avec de petits charbons. Le plus grand mal qui puisse en résulter, c'est la lenteur avec laquelle s'effectuent les descentes des charges. Mais on doit préférer de donner au fourneau une trop grande hauteur, plutôt que de tomber dans le défaut opposé : les matières seront mieux préparées avant d'entrer dans le foyer de la fusion; d'ailleurs, l'humidité des minérais, un grillage défectueux, un cassage en trop gros morceaux, sont des causes de dérangement

qui influent avec plus d'énergie sur le degré de chaleur et l'allure des petits fourneaux.

355. On pourrait admettre en principe, que tous les minérais susceptibles d'être traités pour fonte blanche, sans donner aucun vice au fer, doivent être fondus dans les flussofen; tandis que ceux qui produisent des fers défectueux doivent être traités dans les hauts fourneaux à une très-forte chaleur. Cette règle ne peut subir de modification que pour les minérais réfractaires et riches, qui du reste n'ont point de mauvaises qualités; on pourra les réduire dans l'un et l'autre fourneau, seuls ou mélangés avec des minérais pauvres et sans défaut. Dans ce dernier cas, on ferait mieux cependant de les traiter dans les hauts fourneaux. Quoi qu'il en soit, c'est toujours de la *fonte mêlée* qu'on doit en obtenir.

DEUXIÈME DIVISION.

DES COMBUSTIBLES.

356. L'étude des combustibles est plus essentielle pour le maître de forges que pour tous les autres métallurgistes praticiens. La grande consommation de ces matières, même pour les établissemens qui n'ont qu'une faible étendue, le force d'acquérir une connaissance parfaite de leur nature et de leurs propriétés, afin de diminuer ses frais d'approvisionnement. Sous le rapport technologique, il doit savoir apprécier leur effet, et l'influence qu'ils peuvent exercer sur la qualité des produits. Vu le bas prix du fer, il est de la plus haute importance, pour le sidérurgiste, de les employer

de la manière la plus avantageuse. Une consommation mal entendue peut détruire de fond en comble la prospérité de son industrie. Tout ce qui est relatif à l'achat et à la préparation des combustibles, est regardé à juste titre comme une partie essentielle de l'art des forges; ces objets ont, avec le travail du fer, une liaison plus intime qu'avec toutes les autres branches de la métallurgie.

357. Dans l'extraction du fer, le combustible sert à la fois comme moyen d'élever la température et comme agent chimique. La réduction ne peut avoir lieu qu'à la plus forte chaleur; elle serait impossible sans une fusion préliminaire. Le contact immédiat du réactif avec le minérai, est aussi une condition indispensable. La flamme seule ne pourrait effectuer la désoxidation; on en sera convaincu, en se rappelant que toutes les substances employées pour alimenter la combustion, se composent d'une plus ou moins grande quantité de carbone, d'hydrogène, d'oxigène, quelquefois aussi d'azote, et que la flamme n'est que le résultat de la combinaison de l'oxigène avec ces matières. Lors donc que le combustible doit agir comme réactif, il ne doit pas encore être décomposé ou changé en flamme; sans cela il ne pourrait absorber l'oxigène contenu dans le minérai.

358. Il paraîtrait d'après cela que, pour obtenir le plus grand effet possible, on devrait traiter les minérais avec le combustible brut, afin d'employer à la combustion, l'hydrogène qu'il peut contenir; mais l'expérience ne confirme point cette conjecture. Ce sont probablement des obstacles mécaniques, joints d'ailleurs à la raison d'économie, qui font rejeter l'emploi du combustible à l'état brut. Pour ce qui est de la

houille, ses parties composantes agiraient d'une manière nuisible sur la qualité du fer : il faut donc les soumettre à une préparation et en séparer les substances qui, dans un air non condensé, peuvent brûler avec flamme : c'est ce qu'on appelle la *carbonisation*.

Tous les corps employés comme combustibles, le bois, la tourbe, les houilles brunes ou noires contiennent, outre le carbone, de l'hydrogène, de l'oxigène et quelquefois aussi de l'azote, dans des proportions telles, qu'à une température convenable, au-dessous même de la chaleur rouge, ces substances forment, avec une petite dose de carbone, de nouvelles combinaisons et se dégagent à l'état d'eau, d'huile, de gaz combinés et d'acide acétique. Il paraît que ces nouveaux composés exigent, pour leur formation, d'autant moins de carbone que la température est plus basse. Au reste, on est obligé de la varier d'un combustible à un autre ; il est assez vraisemblable que le degré de chaleur doit augmenter avec la quantité de carbone contenue dans ces matières inflammables.

359. C'est à cette propriété des combustibles de se décomposer, comme nous venons de le dire, lorsque, à l'abri de l'oxigène, on les expose à une certaine température, que nous devons la possibilité de fabriquer le charbon. Préservé du contact de l'air, il est inaltérable à la plus forte chaleur. On voit d'après cela, que le combustible cru considéré comme corps désoxidant, ne peut agir avec plus d'énergie que si préalablement il avait subi la carbonisation : car l'effet de l'hydrogène se trouve neutralisé, à une température bien au-dessous du degré de chaleur nécessaire à la désoxidation du métal.

Les produits des combustibles soumis à une tem-

pérature élevée, sont tout autres, si la décomposition se fait avec le contact de l'air et avec flamme; parce que l'oxigène, agissant alors sur toutes les parties inflammables, occasionne une grande perte de charbon. La chaleur qui résulte d'une si rapide combustion, quoique très-vive, est extrêmement passagère.

Cette variation dans la température, la prompte destruction des matières inflammables, la perte de carbone dont une plus grande partie s'échappe avec le gaz, sans brûler, sont des inconvéniens qui détruisent tous les avantages que semble promettre l'emploi des combustibles bruts. Il y a donc économie, lorsqu'on veut produire une chaleur continue, à les carboniser; parce que les charbons se consument très-lentement.

Ce n'est que dans les cas où il faut éviter le contact immédiat et médiat du minérai avec le combustible, et dans les travaux qui exigent un coup de feu violent plutôt que prolongé, qu'on doit préférer les matières inflammables brutes, à celles qui ont été carbonisées.

360. On ne doit point confondre la combustion avec la carbonisation; elles sont diamétralement opposées: pour l'une, on doit éviter le contact de l'aîr, pour l'autre, il est indispensable. Les combustibles crus, exposés à la plus forte chaleur qu'on puisse produire dans nos fourneaux, ne subissent d'autre changement que celui de se convertir en charbon; et ce corps n'est susceptible de se volatiliser qu'à l'aide d'un courant de fluide électrique.

Si la carbonisation pouvait toujours s'effectuer sans le contact de l'air, dans des vases clos, on obtiendrait tout le carbone qu'il est possible de retirer des com-

bustibles et l'on n'en perdrait que la dose qui est nécessaire pour former les nouveaux composés dont il a été question au paragraphe 358; mais cette manière de procéder serait dispendieuse dans les opérations en grand *. On en brûle donc une partie pour élever la température et pour carboniser le reste.

361. L'inflammabilité des combustibles est en rapport inverse de leur richesse en carbone; elle suit une loi décroissante depuis la paille sèche, le bois, la houille jusqu'au diamant, ou jusqu'au graphite et à l'anthracite. Une chaleur rapide, une flamme vive, mais passagère, ne peuvent s'obtenir qu'avec celles de ces substances qui ne contiennent pas une très-grande quantité de carbone. Il paraît donc que la présence de l'hydrogène, en les rendant plus poreuses et moins compactes, augmente leur combustibilité. Il s'ensuit, vu la grande légèreté de ce gaz, que les combustibles dont la pesanteur spécifique est faible, doivent brûler très-facilement; et les charbons qui en proviennent, jouissent de la même propriété.

Il existe des combustibles qui sont tellement peu

---

* Cette méthode se pratique près des grandes villes, où le bois est très-cher et où l'on peut trouver un facile débit des produits de la distillation. On peut, dans ce cas, réunir le combustible sur des points déterminés, parce qu'il s'agit moins d'économiser les frais de transport que la matière première. Il en serait tout autrement dans les usines où les dépenses occasionnées par le charriage, excéderaient souvent la valeur du bois. Il paraît d'ailleurs que le charbon fabriqué dans des vaisseaux clos, est plus léger, et donne beaucoup moins de chaleur que celui qu'on obtient dans des meules, par les procédés ordinaires: cette différence ne provient peut-être que de la manière d'opérer. Quoi qu'il en soit, ce fait est digne d'attention, puisque l'effet contraire a lieu pour le coke, ainsi que nous le verrons par la suite.

Le T.

inflammables, qu'ils ne brûlent que dans un air condensé : phénomène qui est bien d'accord avec la difficulté qu'on éprouve pour allumer un feu de bois, dans un air raréfié, sur les hautes montagnes.

On ne sait pas encore au juste, pourquoi tel charbon est plus combustible que tel autre; on ne peut en attribuer la cause à la quantité de cendres qu'ils contiennent : c'est plutôt dans leurs pesanteurs spécifiques, dans la différence entre leurs compacités, qu'il faut la chercher, puisqu'il est reconnu que les substances inflammables communiquent leurs propriétés aux charbons, et qu'à mesure qu'elles sont plus denses, elles brûlent avec plus de lenteur.

362. On n'a pas encore déterminé le rapport qui existe entre l'effet que les charbons peuvent produire et leur degré de combustibilité ou, si c'est la même chose, leur pesanteur spécifique. Il est prouvé depuis long-temps par l'expérience, qu'à volume égal, les charbons pesans développent le plus de chaleur; mais à poids égaux, on ne connaît pas leur effet d'une manière ausssi positive. Cet effet n'est pas entièrement proportionnel à leur pesanteur spécifique; ce sont les charbons légers qui, dans ce cas, paraissent dégager le plus de chaleur. Mais le rapport des effets produits, et la raison qui peut motiver cette différence, voilà ce qu'il s'agirait d'examiner encore.

363. Nous ne devons point négliger l'étude des combustibles bruts, puisqu'entre leurs propriétés et celles de leurs charbons, il existe tant d'analogie. Les résidus de la combustion de l'une et de l'autre substances, sont les cendres. Nous ne savons pas encore d'une manière bien certaine, si les quantités de ce produit de l'incinération, restent les mêmes lorsqu'on

brûle le combustible immédiatement, ou en le carbonisant d'abord avec beaucoup de précaution. Des recherches dirigées vers cet objet jetteraient peut-être quelque lumière sur la formation des cendres.

Le degré de température auquel les charbons commencent à brûler, est encore un sujet de contestations parmi les chimistes. Il paraît résulter des expériences de Rumford, que le carbone se combine avec l'oxigène et se change en acide carbonique, à un degré de température bien au-dessous de celui où il brûle d'une manière visible. Il ne résulte, d'une lente combustion, qu'un faible dégagement de chaleur. En général, les charbons, pour produire le plus grand effet possible, doivent brûler dans un temps déterminé. Si la combustion est très-rapide, la température peut s'élever momentanément au plus haut degré que le charbon puisse produire ; mais cette chaleur est trop passagère, et l'effet devient aussi incomplet, que si le charbon se consumait avec trop de lenteur.

La durée du temps la plus avantageuse pour la combustion, est-elle la même pour les charbons durs et pour les charbons légers? La solution de cette question reste encore abandonnée aux recherches des physiciens. Si les divers charbons produisaient par la combustion, dans des temps égaux, des effets proportionnels, il suffirait d'en examiner une seule espèce, de déterminer le temps ou la densité de l'air qui donnerait le maximum d'effet, et de chercher ensuite les rapports qui existeraient entre les densités de l'air qu'on devrait employer pour brûler les autres charbons pendant ce temps, en supposant d'ailleurs que l'opération eût lieu sur des masses égales.

DU BOIS ET DU CHARBON DE BOIS.

364. Les différentes espèces de bois employées dans les travaux métallurgiques sont, le pin, le sapin rouge (l'épicia), le sapin blanc, le mélèze, le chêne, le hêtre, le charme, l'aulne, le bouleau, le tilleul, le peuplier, le saule, l'orme et le châtaignier. Ces différentes essences sont divisées ordinairement en deux classes : en *conifères* et en bois feuillus. On les divise encore, selon leur degré d'inflammabilité et celui de leurs charbons, en bois tendres et en bois durs. Les conifères, tels que le pin, l'épicia, le sapin, le mélèze, appartiennent aux bois tendres, ainsi que le tilleul, le saule et le peuplier.

365. Le pin (*pinus silvestris*) est de tous les bois tendres le plus dur, et donne aussi les charbons les plus compactes. Il croît dans le sable mouvant, et ne prospère pas plus dans un sol gras et humide que sur les montagnes arides couvertes d'une trop mince couche de terre végétale.

Le pin est plus grand et plus résineux que tous les autres conifères; il peut acquérir un mètre de diamètre et 22 à 25 mètres d'élévation. Une forte racine pivotante le protége contre le vent. Ses ennemis principaux sont la chenille de pin et le dermeste typographe. Il ne parvient à son plus grand développement qu'après 140 ans; mais on peut le mettre en coupe au bout de 80 à 100 années.

L'épicia ou sapin rouge (*pinus picea*), qui n'a qu'un faible pivot, est très-sujet à être déraciné par le vent; les insectes qui attaquent le pin, causent encore plus de dommage à l'épicia, dont le bois se gâte plus promptement.

Ce n'est qu'après un siècle et demi, que cet arbre parvient au terme de sa croissance ; on le coupe tous les 70 ou 80 ans, mais le meilleur aménagement est entre 100 et 150 ans. Dans les bons terrains, on peut réduire quelquefois à 60 ans la durée d'une révolution. Quoiqu'il ne se plaise point dans les sables arides et qu'il préfère les terres grasses, il n'est point rare dans les pays de montagnes.

Le sapin blanc (*pinus abies*) habite également les plaines et les montagnes, pourvu que le sol ne soit ni trop gras ni trop humide. Il pousse avec beaucoup de rapidité, atteint le terme de sa croissance de 80 à 100 ans. On peut l'aménager à 60 ans. Plus dur que l'épicia, son bois est moins disposé à tomber en pourriture. La durée de la vie de cet arbre est de 4 siècles.

Le mélèze (*larix*), qui perd son feuillage *aciculaire* pendant l'automne, croît avec une extrême rapidité ; on peut le couper au bout de 50 ans. Il exige une assez bonne terre, qui ne soit ni sablonneuse ni grasse, ni humide ni froide. Il ne fait que languir dans les contrées septentrionales. Le terme de sa croissance est marqué à 80 ou 90 ans, et celui de sa vie à trois siècles.

Le chêne (*quercus robur*) demande 200 à 250 ans pour parvenir à toute sa grosseur ; mais il croît si rapidement dans les premières années, qu'au bout de 50 à 60 ans, on peut le couper déjà pour le mettre en charbon. Son bois, qui est très-fort et très-dense, donne les charbons les plus durs et les plus pesans. Cet arbre peut atteindre un âge de 600 ans ; il lui faut un terrain assez bon, un peu humide et légèrement montueux.

Le hêtre et le charme (*fagus et carpinus*) se plaisent dans des terrains secs ; il leur suffit de 120 à 140

ans pour parvenir au terme de leur accroissement. On les aménage à 120 ans; leur bois est dur et leur charbon excellent.

Les deux espèces d'orme (*ulmus sativa*, *ulmus campestris*) demandent une terre grasse et humide. Elles donnent, au bout de 80 ans, les meilleurs bois de construction, et au bout de 20 ou 30 ans, de très-bons bois à charbon. Il serait à désirer qu'on parvînt à propager la culture de cet arbre précieux, dont le bois et le charbon sont d'une excellente qualité.

L'aulne (*betula alnus*) ne croît que dans les terres humides, au bord de l'eau; coupé, il repousse avec beaucoup de vigueur; on peut l'aménager à 18 ou 20 ans; son charbon est d'une assez bonne qualité.

Le bouleau (*betula alba*) peut, au bout de 40 ans, atteindre 40 à 60 pieds d'élévation. On ne l'emploie pas comme bois de construction; son charbon est très-bon. On peut l'aménager à 20 ans; il demande un sol léger, un peu humide et exposé au soleil; c'est pour cette raison que cet arbre ne prospère pas au milieu des forêts.

Le tilleul, le peuplier et le saule (*tilia*, *populus et salix*) donnent de mauvais bois de construction et de mauvais charbon. On cherche à les éviter *. Le châtaignier ne croît que dans la partie méridionale de l'Europe; il fournit un bon charbon, qui, dans l'Italie, est d'un fréquent usage.

366. L'ensemencement, la plantation, la culture,

* Je connais plusieurs usines où les charbons de ces bois tendres sont très-recherchés pour l'affinage, parce qu'ils rendent ordinairement le fer plus doux; mais ils ne donnent pas assez de chaleur pour être brûlés dans les hauts fourneaux.

Le T.

l'aménagement des bois sont du ressort de la partie forestière. Ce n'est qu'à l'aide d'une connaissance précise de l'étendue des terrains, de la nature du sol et de la croissance des arbres, qu'on doit déterminer la quantité de bois que, par coupes annuelles, on peut extraire d'une forêt, sans lui porter aucun préjudice. Le genre d'exploitation dépend des localités : c'est aux forestiers à décider, d'après la nature du sol et les essences des bois, si elle doit avoir lieu par coupes réglées, par jardinage ou par éclairci. L'intérêt des usines est, sous ce rapport, entièrement subordonné à celui des forêts *. Les arbres sur le retour, soit par l'âge soit par d'autres circonstances, sont de peu d'utilité pour l'une et l'autre administration. Il faut donc que le bois ne soit pas conservé trop long-temps sur pied ni abattu trop jeune, parce que, dans ce dernier cas, il n'aurait pas assez de densité et donnerait de mauvais charbon.

367. Si la quantité de chaleur developpée par le bois, était proportionnelle au carbone qu'il contient, et si celui-ci l'était ensuite à sa pesanteur spécifique, chose assez vraisemblable, on en conclurait, conformément à l'expérience, qu'à volume égal, le bois le plus dur et le plus difficilement inflammable, produirait le plus d'effet. Mais on ne connaît pas encore le rapport entre les effets des bois pris à poids égaux : il est très-difficile d'en déterminer la pesanteur spécifique et le poids absolu avec une certaine précision, à cause de la quantité variable d'eau qu'ils peuvent contenir.

---

* Il faut se rappeler que les usines et les forêts dont il est ici question appartiennent au gouvernement.

Le T.

Rumford a fait des expériences sur la pesanteur spécifique de quelques essences de bois. Après les avoir desséchées, à une température de 245° de Fahrenheit; c'est-à-dire, 33° au-dessus de l'ébullition de l'eau, et après avoir continué la dessication, jusqu'à ce qu'il ne pût plus apercevoir aucune diminution de poids, il les a fait bouillir une heure dans l'eau pour en chasser l'air qu'ils contenaient. Purgés ainsi d'eau et d'air, ces bois lui ont donné les résultats suivans :

ESSENCES.	PESANTEURS SPÉCIFIQUES.	POIDS EN GRAMMES des parties solides d'un pouce cube.
Chêne.	15,344	30,42
Orme.	15,186	30,11
Hêtre.	15,284	30,30
Erable	14,599	28,95
Sapin.	14,621	28,96
Bouleau.	14,848	29,44
Tilleul	14,846	29,40
Peuplier.	14,854	29,45
Eau.	10,000	19,83

Il résulte de ces expériences, que la pesanteur des parties solides du bois est presque de moitié plus forte que celle de l'eau, et qu'il existe une si faible différence dans le poids d'une espèce à l'autre, que la substance ligneuse peut être regardée comme identique pour toutes les essences. On peut facilement se rendre raison de ces faits, en songeant que le bois a été des-

séché à une chaleur de 245° de Fahrenheit, et purgé d'air par une longue ébullition dans l'eau. Il est permis de croire que les bois qui, séchés à l'air, montrent la plus grande pesanteur spécifique, ont le tissu ligneux le plus serré et subissent à la température de 245° de Fahrenheit le plus faible déchet. La perte que le bois séché à l'air, éprouve par la dessication dans les fours, a été fixée par Rumford ainsi qu'il suit :

ESSENCES.	SÉCHÉS A L'AIR. Poids en grammes.	DESSÉCHÉS DANS LES FOURS. Poids en grammes.	PERTES POUR CENT.
Chêne.	10	8,336	16,64
Orme.	10	8,110	18,20
Hêtre.	10	8,144	18,56
Erable	10	8,137	18,63
Sapin.	10	8,247	17,53
Bouleau.	10	8,062	19,38
Tilleul	10	8,121	18,79
Peuplier	10	8,045	19,55

La plus ou moins grande quantité de résine contenue dans le bois, peut influer sur la perte en poids, et conduire en apparence à de fortes anomalies.

368. Les bois, comme les hydrates du règne minéral, contiennent à l'état de combinaison une certaine quantité d'eau, qui ne peut en être séparée que par un degré de chaleur au-dessus de celui de l'ébullition, et qui fait partie de leur nature intrinsèque; ils renferment en outre une quantité variable de ce liquide dont ils sont imbibés. C'est ce qui, dans les données sur leur

pesanteur spécifique et sur leur poids absolu, a causé de si nombreuses variations.

Il paraît que les diverses essences de bois, n'absorbent pas les vapeurs aqueuses avec une égale avidité. Pour connaître la quantité d'eau dont elles peuvent s'imbiber, Rumford les a desséchées à une chaleur de 50° de Fahrenheit au-dessus de l'ébullition, et les a exposées ensuite pendant 24 heures à l'air libre; mais cette manière d'opérer est inexacte, parce que le bois absorbe en même temps l'eau qui doit faire partie de sa composition, et dont il s'empare avidement lorsque son organisation n'a pas encore été troublée : cette considération a été trop négligée dans les expériences de Rumford.

M. Hartig donne le poids du pied cube de bois sec ainsi qu'il suit :

ESSENCES.	AGES DES BOIS.	POIDS DU PIED CUBE.
Chêne rouvre de	200 ans.	lb. 46 — 22 loth.
Chêne blanc.	190	44 — 23
Hêtre	120	39 — 2
Bouleau	60	41 — 13
Sapin blanc	81	36 — 20
Pin sylvestre.	100	36 — 10
Id.	50	35 — 20
Orme	100	36 — 14
Sapin rouge	100	31 — 4
Id.	60	29 — 25
Aulne	70	29 — 28

M. Wildenhain fixe le poids d'un pied cube de bois (mesure de Leipzic), ainsi qu'il suit :

Pour le chêne à	24 liv.	
— hêtre	24	
— bouleau	20 —	4 loth.
— pin	16 —	4
— etc., etc.	*.	

La diversité de ces résultats nous montre l'incertitude qui règne encore dans cette partie de nos connaissances. Elle nous fait voir aussi que l'âge et la qualité des bois exercent une influence notable sur leur poids, et qu'il ne faut pas être surpris si, considérés comme matières combustibles, ils ne produisent pas un effet qui s'accorde avec leur pesanteur spécifique.

369. Rumford a prouvé, par ses expériences, que pour un poids déterminé, le bois développe d'autant plus de chaleur qu'il est dans un état de siccité plus complète, et que celui qui a subi déjà un commencement de décomposition n'en développe qu'une très faible quantité ; mais elles paraissent prouver aussi qu'à poids égaux, la chaleur dégagée ne dépend nullement de la pesanteur spécifique. Ces résultats d'expériences sont du reste pleins d'erreurs et d'incertitudes; parce qu'il faudrait brûler chaque espèce de bois avec une vîtesse convenable à sa densité, afin d'en obtenir le

(*) Nous n'avons pas substitué à ces nombres les poids et les mesures de France, parce que M. Karsten ne désigne pas l'espèce de poids et de mesure dont il s'agit ici; son but n'est d'ailleurs que de faire voir la grande différence qui existe entre les poids fixés par les divers auteurs. Ces livres ne peuvent s'écarter beaucoup du demi-kilogramme; et le loth est la trente-deuxième partie de ces livres. Le T.

plus grand effet possible. Un corps qui brûle avec rapidité produit instantanément plus d'effet que celui qui se consume avec lenteur. Si donc la combustion avait lieu dans les mêmes circonstances, l'avantage pourrait être du côté des bois qui s'enflamment le plus facilement. Il s'ensuit qu'on doit avoir égard aux conditions exigées par les bois, pour qu'ils développent, en brûlant, le maximum de chaleur.

370. Les opinions sur le carbone contenu dans le bois, sont aussi variables que les données sur la chaleur dégagée par la combustion. Il paraît résulter des expériences de Rumford, que tous les bois desséchés contiennent une égale dose de parties ligneuses ou de charbon, qu'on peut en retirer en les distillant avec beaucoup de précaution. Cent parties de bois parfaitement sec (367), chauffées dans des cylindres de verre placés dans une étuve, donnèrent à M. Rumford :

Bois de Chêne......	43,00	de charbon pris au poids.
— Orme.......	43,27	
— Erable	42,23	
— Sapin.......	44,18	
— Tilleul......	43,59	
— Peuplier...	43,57	

Ce physicien dit avoir continué l'opération, jusqu'à ce qu'il ne s'aperçut plus d'aucune diminution de poids. Il lui fallut, pour cet effet, quatre jours et quatre nuits, en réglant la chaleur avec beaucoup de soin. D'où il conclut que le charbon existe déjà dans le bois, et qu'il est en même quantité dans toutes les essences. Il en résulterait que les bois ne diffèrent entr'eux, que par la nature et la densité de leur tissu ligneux. Mais, comme il paraît que la chaleur rouge

est essentiellement nécessaire à la carbonisation, il est permis de douter que ces charbons de M. Rumford se soient trouvés dans un état de carbonisation parfaite. M. Rumford dit, d'un autre côté, que les charbons commencent déjà à brûler ou à diminuer de poids à une température au-dessous de la chaleur lumineuse. On doit conclure de tout ceci que le charbon contenu dans le bois, ne peut s'obtenir en entier et parfaitement pur, que lorsqu'on opère dans des vaisseaux clos et soumis à la chaleur rouge.

371. MM. Proust, Mushet, Scopoli, Hielm, Allen et Pepys, sont parvenus à des résultats bien différens de ceux que nous venons de rapporter.

Expériences de Proust.

	Poids du bois.	Poids du charbon.
Orme.	100	25
Sapin rouge.	*id.*	20
Chêne.	*id.*	19
Charme.	*id.*	17
Saule.	*id.*	17

Expériences de Mushet.

	Poids du bois.	Poids du charbon.
Châtaignier.	100	23,280
Chêne.	*id.*	22,68
Hêtre.	*id.*	19,941
Orme.	*id.*	19,574
Sapin.	*id.*	19,204
Saule.	*id.*	18,497
Bouleau.	*id.*	17,491
Pin.	*id.*	16,456

Expériences de HIELM.

	Poids du bois.	Poids du charbon.
Chêne sec	100	30 1/2
Id. frais	*id.*	29 1/2
Sapin sec	*id.*	26
Id. vert	*id.*	27 2/3
Pin sec	*id.*	24 1/4
Id. vert	*id.*	26 1/3
Bouleau sec	*id.*	25 1/2
Id. vert	*id.*	23 1/4

Expériences de SCOPOLI.

	Poids du bois.	Poids du charbon.
Chêne	100	25
Sapin	*id.*	25
Bouleau	*id.*	23
Tilleul	*id.*	22
Hêtre	*id.*	21 3/4

*Expériences d'*ALLEN *et* PEPYS.

	Poids du bois.	Poids du charbon.
Sapin	100	18,17
Chêne	*id.*	17,40
Hêtre	*id.*	15,00

Ces expériences se font ordinairement sur de petites quantités de bois. Toutes les causes éventuelles, qui tendent à en altérer les résultats doivent avoir alors une très-forte action : comme par exemple, la variation dans le degré de chaleur, l'affluence de l'air atmosphérique et la plus ou moins grande combustion du charbon qui en est la suite inévitable.

Si toutes les essences de bois produisaient une égale quantité de charbon prise au poids, il s'ensuivrait que les essences dures en donneraient une plus faible dose mesurée au volume, puisque leurs charbons ont une plus grande pesanteur spécifique.

372. On n'est point d'accord non plus sur la pesanteur spécifique du charbon ; d'après Rumford, elle dépend entièrement de celle du bois. Les variations dans les données des divers auteurs, ainsi que leurs opinions contraires sur la quantité de charbon contenue dans les différentes essences, doivent être attribuées en partie aux propriétés hygrométriques du bois et du charbon. Car, à la sortie des meules, ces derniers augmentent en peu de temps, d'après Allen et Pepys, de 12 pour cent de poids. Mais la cause principale de ces nombreuses contradictions doit être cherchée dans le bois lui-même. On en sera convaincu en pensant qu'un arbre produit des charbons plus ou moins durs, selon le terrain qui le nourrit, selon la saison dans laquelle on le coupe et selon les parties (le tronc ou les branches) qui sont employées à la carbonisation. Scopoli fixe les poids relatifs des charbons, ainsi qu'il suit :

Charbon	de chêne.	86
Id.	de hêtre	66
Id.	de bouleau.	61
Id.	de tilleul.	40
Id.	de sapin.	44

Cette détermination me paraît aussi dépourvue d'exactitude que celle de Hielm, qui suppose que la pesanteur spécifique du charbon de chêne n'est que de 0,256, tandis qu'il fixe celle de l'épicia à 0,277 et celle du pin à 0,218.

373. Il est un fait incontestable, c'est que les bois vieux, humides, dépérissant, produisent de mauvais charbons et en moindre quantité que les bois sains. Ces charbons sont légers et donnent peu de chaleur. On ne peut en attribuer la cause qu'à un commencement de décomposition; mais on ignore de quelle manière la maladie du bois peut influer sur la qualité et la pesanteur du combustible carbonisé : il faut donc éviter, autant qu'il est possible, l'emploi des bois humides et piqués. D'après les expériences de Hielm, le bois nouvellement abattu donne du charbon plus léger, plus friable et développant moins de chaleur que celui du bois sec, mais les quantités peuvent être égales.

Selon Pissis, le bois pourri laisse deux fois plus de cendres que le bois sain. Nous manquons d'expériences positives sur la quantité et la nature des cendres contenues dans les bois. D'après Kirwan, le saule donnerait par 1000 parties en poids, 28 de cendre, l'orme 23,5, le chêne 135, le peuplier 12,2, le hêtre 5,8, le sapin 3,4. Mushet prétend en avoir obtenu sur 1000 parties de bois : 4,23 du chêne, 17,92 du bouleau, 3,55 du sapin, 4,49 du pin, 7,61 de l'orme, 11,32 du saule, 4,16 du châtaignier, 9,55 du hêtre. Ces résultats varient considérablement, mais ils offrent peu d'intérêt au sidérurgiste. Les cendres ne portent aucun préjudice à ses travaux : leur présence est souvent avantageuse dans le traitement des minérais, parce que les alkalis qu'elles contiennent, peuvent entraîner les terres en vitrification.

374. On ne saurait encore établir une classification précise des diverses essences de charbon, d'après l'effet qu'elles peuvent produire. Il faut préférer en général les charbons les plus durs et les plus pesans. Les essais

sur la quantité de calorique qu'ils peuvent dégager, à poids absolus égaux, n'ont rien appris de positif. Cependant, plusieurs observations paraissent annoncer que les charbons légers donnent plus de chaleur que les charbons durs, pris à poids égaux; tandis qu'à volume égal, ces derniers jouissent d'un avantage incontestable. Le charbon dur ou pesant exige un air plus condensé, pour brûler avec la même vîtesse que le charbon léger; celui-là se consumerait lentement et sans produire beaucoup d'effet, dans les mêmes circonstances où celui-ci brûlerait avec la flamme la plus vive.

375. On ne doit point s'étonner que la nature des bois, l'adresse des ouvriers et d'autres circonstances accidentelles, influent si fortement sur la quantité de charbons obtenue, dans la carbonisation en grand, puisque les opérations faites avec beaucoup de soin, par des physiciens distingués, présentent dans leurs résultats tant de variations.

Si, d'après Rumford, on admet comme terme moyen, que le bois sec puisse rendre 43 pour cent de charbon, et qu'en se desséchant, le bois vert éprouve un déchet de 18 pour cent, il s'ensuivra que 118 livres de bois doivent donner 43 de charbon, ce qui fait 36 et demi pour cent. Mais la pesanteur des bois varie selon le degré d'humidité de l'atmosphère, selon la saison et selon le sol qui les nourrit: on ne pourrait donc les mesurer au poids avec une certaine exactitude.

Le rapport entre le bois et le charbon obtenu dans les opérations en grand, exprimé en poids, n'a probablement jamais été déterminé; on le représente toujours en volumes, et l'on doit admettre que celui de 100 à 50 est très-avantageux. Du reste, il ne

peut s'appliquer à tous les bois indistinctement, parce que le rapport entre les pesanteurs spécifiques des bois et des charbons, n'est pas constant pour toutes les essences. Le bois tendre ne diminue pas en volume autant que le bois dur, et le bois jeune éprouve une plus forte diminution que le bois vieux, lorsque celui-ci est encore dans toute sa vigueur. Le bois sec et le charbon possèdent, d'après Rumford, presque la même pesanteur spécifique. Il en résulte que le bois ne se retire que pendant la dessication, qui précède sa conversion en charbon; ce fait prouve l'influence de l'humidité sur la carbonisation du bois.

376. Le combustible est un objet d'une si haute importance dans la fabrication du fer, que la coupe et la carbonisation du bois doivent être mis sous la direction immédiate de l'administration des forges, dans les pays même où l'administration forestière est séparée de celle-ci. L'une désigne les coupes, l'autre se trouve chargée de leur exploitation : les agens forestiers doivent toutefois surveiller l'exécution de ces travaux *. Il en est de même de la réception des bois; elle doit avoir lieu en présence de l'une et de l'autre partie. La surveillance spéciale de la carbonisation appartient aux agens des usines. Cependant, dans quelques pays, ils achètent le charbon tout fait; ce sont alors les forestiers qui s'occupent exclusivement des coupes et de la carbonisation. Cette étrange disposition n'est justifiable que par des circonstances locales.

377. Lorsque l'économie forestière permet un aménagement par coupes réglées, on doit le préférer aux

---

* Nous rappelerons encore une fois, que les usines dont il s'agit ici, appartiennent au gouvernement et sont administrées par ses agens.

Le T.

exploitations par éclaircies; on en retire un avantage considérable. Il est essentiel aussi pour les usines, qu'elles aient à chercher leur combustible tous les ans, à peu près à la même distance : il faut donc exploiter à la fois les coupes les plus lointaines et les plus rapprochées.

Bien qu'on ne puisse donner une règle positive sur la saison où l'on doit abattre le bois, on peut admettre en thèse générale, que le moment le plus favorable est celui où l'ancienne sève s'est changée en bois, tandis que la nouvelle est encore liquide. Dans les endroits marécageux, on ne peut choisir que le temps d'hiver. Pour le bois feuillu, on préfère ordinairement le mois de mars, celui d'avril et quelquefois même celui de mai, lorsque la sève se développe et que les arbres commencent à bourgeonner : on a pour but de favoriser le *recru* dans les essences qui peuvent se renouveler par rejetons. Pour les conifères, on les coupe en janvier, février ou mars, avant l'arrivée de la sève, afin que le bois soit moins susceptible de se *piquer*. On pourrait aussi les abattre pendant l'été; la dessication en deviendrait plus lente, mais les charbons seraient plus compactes et plus *forts* que ceux du bois d'hiver.

Les coupes d'automne donnent des bois très-sujets à se gâter, à cause de l'épaississement de la sève. Le temps, le climat, la nature du terrain et celle du bois, principalement l'exposition de la forêt, peuvent quelquefois autoriser les coupes d'été; mais il est reconnu que les bois sèchent avec d'autant plus de lenteur qu'ils ont été abattus dans une saison plus avancée. Lorsqu'ils sont verts et humides, ils donnent de mauvais produits, et augmentent les difficultés de la carbonisation.

Les bois abattus pendant les mois d'hiver, peuvent

encore être carbonisés à l'automne de la même année; mais coupés pendant l'été et l'arrière saison, ils doivent séjourner à l'air pendant 12 ou 15 mois entiers. Dans les années froides et pluvieuses, sur un sol humide et dans les bas fonds, on ne devrait jamais faire de coupes d'été, parce que les bois seraient piqués avant qu'ils pussent atteindre un degré convenable de siccité.

378. Après avoir abattu le bois, on doit le couper de longueur, le fendre et le dresser par cordes. Il est assez avantageux que les bûches aient une grande longueur, pourvu qu'elle n'excède pas une certaine limite, celle de 6 pieds par exemple: on y gagne sous le rapport de la main-d'œuvre et l'on peut rassembler sous un même volume une plus grande quantité de bois.

Il vaut mieux scier les arbres que de les abattre à la hache. Lorsque le trait de scie est assez avancé, on les fait tomber à l'aide de coins en fer qui servent aussi à déterminer la direction de la chute. Dégagé de ses branches, le tronc est scié en blocs, en billes d'une longueur déterminée; celles-ci sont fendues ensuite en deux ou en quatre, selon leur grosseur.

Les nœuds, qui ne peuvent se fendre et qui se piquent facilement, doivent être dépouillés de leur écorce, afin que la dessication en soit facilitée. Les rondins de 16 cent. de diamètre sont fendus une seule fois; lorsqu'ils sont plus faibles, on se borne à les écorcer *.

---

* En France, la carbonisation des bois suit immédiatement leur coupe: on y carbonise des bois verts, du moins en Alsace, dans la Lorraine et les Ardennes. Il serait donc inutile de les écorcer; ce procédé d'ailleurs ne conviendrait pas à nos bois de charbon.

Le T.

379. On doit transporter le bois des terrains marécageux ou des bas fonds, sur des hauteurs ou sur un lieu sec, pour le dresser par cordes et le soumettre plus tard à la carbonisation. Ces cordes doivent être le plus rapprochées possible. Dans le dressage, il faut avoir soin d'éviter les espaces vides provenant des nœuds ou des souches, et d'établir des courans d'air par-dessous, en asseyant les cordes sur des chantiers d'une assez forte grosseur.

On distingue le bois de quartier des rondins, ou du bois de branchage, qui donne de bon charbon quoiqu'en petite quantité. Trois cordes de ce dernier ne sont comptées aux usines que pour deux de gros bois. Ce rapport satisfait le vœu de la justice, il doit concilier les intérêts des deux administrations. Si les deux espèces de bois ne sont pas cordées séparément, on doit placer les rondins ou les branchages dans la partie inférieure de la corde.

Le bois diminue de volume en se desséchant. Les agens forestiers passent ordinairement un douzième de la hauteur des cordes pour compenser l'effet du retrait.

Il est très-essentiel, pour ne point se tromper sur les mesures, que la base ou la couche de la corde soit horizontale. Il faut rebuter et renverser les cordes qui sont mal dressées ou qui contiennent trop de bois piqué et mort sur pied. A la réception définitive, elles sont examinées avec soin, marquées à la craie et martelées.

On fait avec les bûcherons des marchés pour couper, fendre et dresser le bois ; cette méthode est préférable au payement par journées.

380. Quelque soin qu'on puisse donner à l'ex-

ploitation des bois, il n'est guère possible de scier les arbres immédiatement au-dessus de la surface du sol *. On abandonne toujours une petite portion du tronc, qui, joint aux grosses racines, donne un très-bon bois à charbon. Pour l'extraire de la terre, on fait autour de l'arbre une fosse assez profonde, on coupe les racines les plus fortes et on soulève la souche. Mais ce n'est qu'au bout d'une année entière qu'il faut procéder à cette opération, sans cela, le bois se piquerait en se desséchant; si l'on voulait attendre plus longtemps, il pourrirait sur pied.

Le bois de souche, lorsqu'il est sain, donne des charbons excellens; mais comme son extraction est dispendieuse, on en fait rarement usage dans les pays boisés. Il se corde mal, les racines qui s'étendent dans tous les sens, produisent des espaces vides, dont il est nécessaire de soigner le remplissage. L'enlèvement des souches est d'un grand intérêt pour l'administration forestière : c'est un moyen de préparer le terrain pour les semis, sans qu'il en résulte de frais pour le gouvernement.

381. La carbonisation se fait ordinairement sur les lieux mêmes. On rassemble toutefois les cordes sur un seul point, lorsque le bois est répandu sur un vaste espace, que la pente du terrain est très-rapide, et que d'ailleurs on peut opérer le transport, soit par le flottage, soit en roulant les billes du haut des montagnes. Souvent aussi, on est forcé de le faire porter hors des coupes pour ménager le recru (comme pour les aulnes et les bouleaux). Cette disposition nécessaire à la con-

---

* En France, on les exploite à fleur de terre.

Le T.

servation des forêts devient extrêmement onéreuse pour les usines.

Ce qu'il y a de plus avantageux pour ces dernières, c'est l'exploitation par coupes réglées, dans lesquelles les cordes sont assez rapprochées pour être réunies en tas par les charbonniers; autrement on est forcé de les faire voiturer avec des chevaux.

Si la carbonisation se fait sur un seul point, le charbonnier pourra exercer une surveillance plus active, et le charbon ne souffrira pas autant par le cahotage, puisque son trajet sera moins considérable; mais ces avantages sont loin de compenser les frais occasionnés par le transport du bois.

382. Si, dans les opérations en grand, on pouvait carboniser le bois dans des vaisseaux fermés hermétiquement, on obtiendrait le maximum de charbon qu'il est possible d'en retirer; mais la consommation en combustibles employés à l'échauffement des vases, détruirait tous les avantages qui résulteraient de ce procédé: on est donc obligé, pour entretenir le degré de température nécessaire à la carbonisation, de brûler une partie du bois soumis à l'opération. Ce n'est que dans la fabrication du vinaigre et du goudron que l'on emploie une chaleur extérieure. Les dépenses en combustibles, sont payées alors par les produits de la distillation, et le charbon obtenu n'est qu'un objet accessoire.

On a maintes fois essayé d'opérer la carbonisation dans des fourneaux; mais, autant que je sache, il n'en est résulté aucune économie; on en est toujours revenu à allumer le bois même, et à le convertir en charbon par une lente combustion. Il est évident d'ailleurs que la terre qui couvre les meules, s'affaissant

à mesure que le bois se retire, le protége bien mieux contre l'action de l'air atmosphérique que les murs ou la voûte d'un fourneau *.

383. Je ne pense pas qu'on puisse obtenir une plus grande quantité de charbon dans les fourneaux de carbonisation que dans les meules, dont le travail est conduit avec le soin convenable, à moins d'employer des vaisseaux clos et de les chauffer extérieurement. L'acide et le goudron que l'on recueillerait alors, n'offriraient pas toujours un dédommagement des dépenses occasionnées par cette manière d'opérer, qui du reste, serait impraticable pour les grands établissemens.

Les fourneaux de carbonisation sont pourvus dans la partie inférieure d'une grille. C'est à l'aide de cette grille qu'on établit le faible courant d'air qui doit entretenir la combustion. On serre les bûches très-près l'une de l'autre, et leur diamètre est petit; afin que la grandeur des espaces vides soit diminuée autant qu'il est possible. C'est pour la même raison, que l'intérieur des fours doit être carré plutôt que rond; leur hauteur est calculée exactement sur la longueur des bûches ou *vice versâ*. Le feu doit se propager avec lenteur et uniformité, de la grille à la partie supé-

---

* On pourrait croire, au premier abord, que les espaces vides, qui se forment par l'affaissement du bois, dans les fourneaux dont les parois et le couvercle sont immobiles, devraient occasionner la combustion d'une grande partie de charbon; mais il n'en est pas tout à fait ainsi. Les espaces vides se remplissent de vapeurs et de fumée; et si l'opération est conduite avec beaucoup de ménagement, ces fluides élastiques doivent toujours se trouver en assez grande quantité dans le fourneau, pour qu'ils puissent s'opposer en quelque façon à l'entrée de l'air atmosphérique.

Le T.

rieure. Pour le gouverner plus facilement, on pratique dans les murs, des soupiraux qu'on peut fermer à volonté.

Les vapeurs qui s'échappent du foyer, sont recueillies et conduites dans des vaisseaux réfrigérens. La partie supérieure du fourneau se trouve fermée par une plaque en fonte, qu'on enlève lorsqu'on renouvelle le chargement. On tire le charbon par une porte latérale, qui sert aussi à disposer le bois jusqu'à une certaine hauteur; cette porte se ferme avec des briques, lorsqu'on met le fourneau en activité *.

---

* On a décrit, dans le Journal de l'Industrie nationale et étrangère, n°s. 26, 27 et 28, un procédé de carbonisation qui, parmi les méthodes de son genre, paraît offrir quelques avantages. L'opération se fait dans des fourneaux de 9 pieds de profondeur et 10 de diamètre, construits en gazon ou creusés en terre, selon l'élévation du sol: leur partie supérieure est fermée par un couvercle en fer. On peut ou recueillir l'acide pyroligneux et le goudron qui se dégagent, ou négliger la récolte de ces produits de la distillation. Mais nous faisons observer que les quantités de charbon obtenues par l'auteur de ce procédé, n'excèdent pas celles que dans nos forges on obtient par les méthodes ordinaires: car 500 décastères de bois de chêne ne lui ont donné que 16000 hectolitres de charbon, ce qui fait 32 pour cent; et dans l'arrondissement des forges de la Moselle, on obtient ordinairement de 31 à 33 pour cent, quoiqu'on ne carbonise que des rondins qui ont souvent un très-faible diamètre. Gassendi fixe cette quantité dans les mêmes forges, à 34,5 pour cent (aide mémoire pour les officiers d'artillerie). Dans les usines de la Silésie, où l'on carbonise du bois de quartier, on obtient de 48 à 50 pour cent (Voyez le paragraphe 375). Quand les charbonniers de ce pays travaillent à forfait, on exige d'eux qu'ils fournissent 48 de charbon pour cent de bois; le surplus leur est payé d'après des prix convenus (Voyez le paragraphe 409). Si l'on adoptait le rapport fixé par M. Karsten, de l'effet du bois de quartier à celui du bois de branchage (379), on devrait retirer de ce dernier 32 de charbon pour cent de bois,

384. Les usines carbonisent leur bois dans *des fosses*, *en tas* et en *meules :* la première de ces méthodes, qui est probablement la plus ancienne, ne se pratique plus qu'en Espagne. Le bois rangé avec ordre dans des fosses, allumé dans la partie supérieure, couvert d'abord très-légèrement et ensuite avec une plus grande quantité de terre et de branchages, est abandonné à une lente combustion.

Les parois des fosses sont quelquefois revêtues de plaques en fonte ou d'un muraillement en pierre, de sorte qu'elles constituent de véritables fourneaux. Cette manière d'opérer est très-défectueuse : on n'est pas le maître de gouverner le feu ; on brise les charbons pour les sortir de la fosse, et l'on obtient une trop grande quantité de *fumerons* *.

385. Le deuxième procédé qui consistait à carboniser le bois en tas, a été justement abandonné. Après avoir aplani le terrain, on y déposait en tas irréguliers, une certaine quantité de troncs d'arbres, sans les couper ni les scier, et sans apporter même une grande attention à remplir les lacunes provenant des arbres plus courts que les autres. On donnait une

---

donnée qui s'accorde avec nos propres observations. L'ensemble de ces faits prouve donc évidemment que la carbonisation effectuée dans les fourneaux, par les meilleures méthodes, ne présente aucun avantage aux propriétaires d'usines à fer ; à moins qu'ils ne veuillent spéculer sur les acides, et qu'ils ne comptent payer, à l'aide de ces produits de la distillation, les frais de transport du bois et les dépenses occasionnées par la construction des fourneaux. Ce n'est donc qu'en perfectionnant la carbonisation dans les meules couvertes de terre, qu'on peut rendre à l'art des forges des services signalés.

Le T.

* Ou *flamerons*, morceaux de bois à demi-carbonisés.

pente au terrain pour augmenter le tirage de l'air. Le bois couvert à la manière ordinaire, était allumé au point le plus bas, et l'ignition se communiquait ensuite à l'autre extrémité du tas. Il était impossible de carboniser les arbres à la fois dans toute leur longueur: on était donc obligé de tirer le charbon d'un côté, pendant que l'autre était encore en feu. Au reste, ce procédé vicieux n'est plus en usage.

386. Le bois qui doit être carbonisé, reçoit une longueur déterminée. On peut ou coucher les bûches et donner au tas qu'on appelle *meule* la forme d'un hémisphère, ou les dresser et lui faire prendre l'aspect d'un cône tronqué. Le charbonnier conduit le travail de la même façon pour l'une ou l'autre meule : la seule différence est dans l'arrangement des bûches.

387. La saison la plus convenable pour la carbonisation du bois, est l'été; soit parce qu'elle offre au charbonnier les objets indispensables à ses opérations, tels que le gazon, la mousse, le feuillage et l'eau; soit parce que le temps est moins humide, les ouragans moins fréquens, les journées plus longues, et que par suite la surveillance de l'opération devient plus active. On ne devrait commencer la carbonisation qu'au mois de mai; avant cette époque, le bois et la terre sont encore chargés d'humidité; la neige et les ouragans sont les plus grands ennemis du charbonnier. Si quelquefois, le climat et la nature du sol l'autorisent à continuer ses travaux pendant l'arrière-saison, il doit toujours les interrompre au temps équinoxial et pendant l'hiver.

388. Le terrain où l'on rassemble le bois pour le carboniser, doit être sec, abrité du vent et non sujet aux inondations. Une même faulde (l'emplacement

sur lequel s'élèvent les meules), peut servir plusieurs fois, si l'opération se fait toujours au même lieu. On doit donc apporter plus de soin dans sa préparation : on ne devrait pas négliger en ce cas de la paver, ni de lui donner une pente vers le point central; parce qu'à l'aide de cette disposition, on pourrait recueillir sans dépense une partie de l'acide et du goudron qui se forment pendant la carbonisation, et qui s'écouleraient dans un réservoir pratiqué au-dessous du niveau naturel. Mais il ne faudrait point établir de courant d'air de bas en haut, en donnant du jour par la faulde.

Si l'on ne voulait pas recueillir l'acide et le goudron, on pourrait rendre les aires entièrement planes, les disposer au-dessus d'une fosse, les murer, placer au centre une large plaque de fonte et allumer la meule en chauffant la plaque par-dessous; c'est un moyen d'éviter les espaces vides qui doivent nécessairement se former, quand on porte le feu dans l'intérieur de la meule *.

389. Lorsque la carbonisation a lieu dans la forêt, il est bien rare qu'on puisse profiter, à plusieurs re-

* Ce procédé revient à celui de M. Brune, décrit dans les Annales des arts et manufactures, t. 5, p. 249 — 266. — Les maîtres de forges qui l'ont essayé lui accordent un avantage incontestable sous le rapport de la quantité du charbon obtenu. Mais la confection des fauldes en tôle supportées par un grillage en fer est dispendieuse, d'autant plus que la tôle exposée à l'action de la chaleur et de l'acide pyroligneux se corrode et se détruit assez promptement. Peut-être la remplacerait-on avantageusement par des plaques de fonte de 4 ou 5 lignes d'épaisseur; mais ce procédé ne peut convenir que pour les usines qui carbonisent dans un très-petit nombre d'endroits.

Le T.

prises, d'un même emplacement, à moins que le bois n'y soit très-abondant ou qu'il n'ait été rassemblé sur un seul point. Le terrain est quelquefois si rocailleux et la pente si rapide qu'on est obligé de se soumettre aux frais de transport, afin d'éviter des dépenses plus fortes qui résulteraient de l'établissement des fauldes nouvelles. Pour les construire, il faut souvent miner et faire sauter le roc, établir des pilotages et des plates-formes de madriers que l'on recouvre ensuite d'un pied de terre. Préparées de cette manière, les fauldes sont d'un excellent usage; leur sol est sec, sans être ni trop compacte ni trop léger.

390. Le motif principal qui doit guider le charbonnier dans le choix d'un emplacement pour les meules, c'est la proximité du bois qu'on veut carboniser. Le voisinage de l'eau, ou la possibilité de se la procurer en creusant à une faible profondeur, est une considération qu'il ne doit pas négliger. Il faut que le terrain abrité des courans d'air, ne soit ni trop bas ni trop élevé; qu'il soit sec et disposé de manière que l'eau ne puisse y séjourner.

Après avoir trouvé un endroit qui remplisse ces conditions d'une manière plus ou moins complète, on aplanit le sol, on le dépouille du gazon, on extrait les souches et les racines. Quelquefois on lui donne une légère pente du centre à la circonférence, pour favoriser l'écoulement des liquides.

Le charbonnier craint les terres légères parce que l'air pénétrant au travers du sable de la base, l'empêche de conduire à son gré l'ignition du fourneau. Dans le cas opposé, lorsque le sol est compacte, rocailleux ou susceptible de se durcir par la chaleur, l'humidité ne pouvant s'infiltrer dans la terre, re-

monte dans la meule, éteint le feu et produit des fumerons. Il faut pour cette raison ne point opérer sur un terrain humide. Quand on ne peut l'éviter, on le couvre de branchages et de terre; quelquefois même on établit la faulde sur une plate-forme composée de troncs d'arbres jointifs, qu'on charge ensuite de terre et de fraisil *. L'emploi des bardeaux avec lesquels on la tapisse présente beaucoup d'avantages, parce que leur transport est facile et qu'ils peuvent servir à plusieurs reprises. Ces sortes de précautions ne devraient jamais être négligées pour les terrains humides ou compactes.

Le défaut de succès, dans l'opération du charbonnier, ne provient souvent que de la négligence avec laquelle il prépare l'emplacement de la meule. Une faulde très-sèche, dont le terrain n'est pas assez léger pour laisser en-dessous un accès à l'air atmosphérique, ni assez compacte pour s'opposer à l'infiltration des liquides, remplit toutes les conditions qu'on peut exiger.

Faut-il préférer les fauldes fraîches à celles qui ont déjà servi ou *vice versâ?* C'est une question facile à résoudre, si l'on considère que, pendant la carbonisation, la terre s'imbibe d'humidité, et qu'après l'opération, il faut en renouveler la première couche, ce qui est d'autant plus nécessaire, que le fraisil absorbe l'eau avec une grande avidité. Cependant, lorsque ces aires sont établies sur des grillages en bois, qu'on recouvre de fraisil, cette précaution n'est pas aussi né-

---

* Ce fraisil est un mélange de poussière de charbon, de cendres et de terre. On l'appelle terre de charbonnier.

Le T.

cessaire, parce que l'humidité trouve alors un passage par dessous.

Si le terrain est peu convenable au travail du charbonnier, et si l'on craint les dépenses qui résultent de l'établissement des grillages, quoiqu'elles ne soient pas très-fortes, on doit du moins améliorer les fauldes en faisant un mélange de terres grasses et de terres légères.

391. Après avoir préparé la faulde, on place au point du milieu une perche verticale, au tour de laquelle on dresse le bois par enveloppes concentriques. La grandeur des meules est très-variable; il en existe depuis deux jusqu'à dix mètres de diamètre. On préfère dans certains endroits les petites meules et ailleurs les grandes. Les premières exigent presque les mêmes soins que les dernières, dont la carbonisation peut en outre s'effectuer par un courant d'air plus faible, parce qu'elles développent une plus grande quantité de chaleur. Les grandes meules méritent donc la préférence, si toutefois on peut leur donner une bonne couverture. Cependant, le tout dépend plutôt de l'adresse et de la surveillance du charbonnier.

Les meules de 92 à 123 stères se composent ordinairement de trois étages, celles qui sont plus petites n'en présentent qu'un ou deux. Dans tous les cas, il doit exister un certain rapport entre leur hauteur et le diamètre de la base. L'étage supérieur, composé de bûches dont l'inclinaison est bien plus forte, doit avoir une forme arrondie, on l'appelle le *petit haut*, et souvent aussi la *calotte* *. La quantité de charbon retiré

* La couverture s'appelle souvent le *bouge ;* l'étage supérieur le *petit haut*, nous lui conserverons le nom de calotte. *Bouger, habiller* la meule, c'est la couvrir de feuillage, de terre et de gazon.
Le T.

du bois est plus forte, si les bûches sont faiblement inclinées à l'horizon.

392. On allume la meule au centre de la base: il faut donc placer à ce point quelques matières inflammables, comme du bois de pin ou du bois sec et menu. On y porte le feu par le vide que laisse la perche après qu'on l'a retirée, ou par une galerie horizontale, ménagée au niveau du sol, et pénétrant jusqu'au centre du bûcher. Le vide formé par le mât ne serait pas assez spacieux: on est donc obligé de l'élargir, en construisant, à l'aide de trois pieux disposés en triangle, une espèce de cuve qui s'élève en même temps que le tas de combustible.

On n'est pas d'accord sur la manière la plus avantageuse d'allumer le bûcher : le mieux, c'est de porter le feu par la galerie; on peut alors se passer de la cuve dont le vide est plus nuisible au travail de la carbonisation que celui de l'ouverture horizontale. Quelle que soit du reste la manière d'allumer la meule, son traitement est le même : l'ignition doit se répandre dans l'intérieur en partant toujours du centre de la faulde.

393. En construisant le bûcher, il faut donc avoir égard à la manière dont on veut l'allumer. Toutes choses égales d'ailleurs, la carbonisation sera d'autant plus complète et le déchet d'autant moindre que les bûches seront plus serrées.

Dans les meules à trois étages, les plus grosses *billes* se placent dans celui du milieu. Les fumerons des opérations précédentes sont rangés autour de la perche, afin qu'on puisse élever la température rapidement et ne pas occasionner un déchet inutile par une trop lente ignition.

Dans l'étage inférieur les gros bouts des bûches sont

tournés en haut; dans celui du milieu, ils le sont en dessous. Cette disposition s'oppose au tirage et diminue la quantité de fumerons, en assignant au bois, selon la grosseur, la place la plus convenable. C'est entre ces deux étages que la chaleur acquiert la plus grande intensité. Il faut éviter l'emploi de trop fortes bûches *. Si la faulde n'est pas entièrement horizontale, on place les plus grosses billes au point le plus bas où le feu s'éteint plus lentement.

Le bois de quartier se dresse de manière que le cœur soit tourné vers le centre, afin de laisser moins d'intervalles entre les bûches. C'est aussi pour cette raison que les blocs ont la même longueur et qu'on doit remplir les espaces vides formés par les ergots. Cependant il est impossible de les éviter entièrement, surtout dans les meules dont les bûches sont placées de bout; parce qu'il faut toujours leur donner une légère pente, ne serait-ce que pour retenir la couverture.

L'ouvrier doit mettre, pendant le dressage, le plus grand soin à remplir les espaces vides et à ne donner au bois que l'inclinaison strictement nécessaire; c'est particulièrement la construction de l'étage supérieur, de la *calotte*, qui réclame toute son attention. Il est impossible de serrer le bois convenablement, lorsqu'on veut terminer la meule en pointe. Il faut donc coucher les bûches du *petit haut* et les diriger dans le sens des rayons.

394. On doit toujours chercher à donner aux meules

---

* On verra dans une note, que nous avons ajoutée au paragraphe 409, que les bois tendres se carbonisent d'une manière très-avantageuse, si l'on peut employer de très-grosses bûches qui aient de 10 à 12 pouces d'épaisseur et davantage encore.

Le T.

une pente très-rapide, et à serrer les bûches le plus possible : l'une et l'autre condition sont plus faciles à remplir avec les meules à bois couché qu'avec celles dont le bois est debout : il faut donc accorder la préférence aux premières. La manière la plus avantageuse de construire les meules à bois couché, consiste à ériger autour de la perche une petite meule à bois debout, dont la pente soit très-rapide; à ranger autour de ce noyau, des couches horizontales et de manière que les bûches soient toujours dirigées vers la perche.

On peut, à l'aide de cette disposition, diminuer les espaces vides; et malgré la rapidité de sa pente, la surface extérieure de la meule offre à la couverture de nombreux points d'appui, qui l'empêchent de s'ébouler, parce qu'elle est en forme de gradins, le retrait des bûches étant réglé par l'inclinaison du noyau. Les couches horizontales peuvent être composées d'une ou de deux longueurs de bûche, selon les dimensions du bois et celles qu'on veut donner à la meule.

Cette manière de disposer le combustible, introduite dans la Haute-Silésie, a été couronnée d'un plein succès. Au lieu de 48 parties de charbon pour cent de bois, prises au volume, on en a obtenu 52. Mais ces meules mixtes demandent encore de plus grands soins pour la préparation des fauldes et donnent plus de fumerons que les meules coniques, si la carbonisation ne s'opère point sur un terrain sec et léger.

395. Le dressage des meules avec du bois de souche exige des précautions toutes particulières. On doit couper les racines qui embarrassent, et s'en servir pour garnir les vides. Au reste, si l'on ne peut y mêler d'autre bois, il est presqu'impossible de carboniser les souches avec avantage.

Le bois de quartier et le bois de branchages ne devraient pas être carbonisés ensemble, à moins qu'on ne fasse servir ce dernier au remplissage. Lorsqu'on ne veut pas le carboniser à part, on ne doit l'employer que pour la calotte.

Le bois vert et le vermoulu donnent des charbons friables, qui sont quelquefois écrasés dans la meule et occasionnent le bouleversement de toute la masse : il faut donc aussi les traiter séparément.

On ne doit pas mêler le bois dur avec le bois tendre ; celui-ci se carbonise plus promptement que celui-là. Cependant lorsqu'on ne dispose que d'une faible quantité de l'une ou de l'autre espèce de bois, et qu'elle ne vaut pas la peine d'être traitée à part, on doit placer le bois dur vers le centre de la meule, dans l'étage du milieu, quand elle en a trois, et le bois tendre en dehors et dans la calotte.

On trouve dans l'ouvrage de M. Stunckel, des formules pour calculer le volume et la surface des meules, d'après leur hauteur et la circonférence de leur base.

396. Pour empêcher la combustion ou le contact de l'air, sur un trop grand nombre de points, on couvre toute la meule d'une couche de terre. De cette manière on ne sacrifie qu'une partie du bois, pour produire la chaleur nécessaire à la carbonisation de toute la masse. Mais la terre pouvant s'insinuer entre les bûches et éteindre le feu, on la place sur un lit de feuillages, de bruyère, de mousse, de gazon, ou même de feuilles de sapin, dont préalablement on enveloppe la meule. Ces différentes substances remplissent leur but d'autant mieux qu'elles sont plus compactes. Le gazon vert, dont il faut tourner la chevelure vers le bois, est préférable à toutes les autres ; la mousse est

moins bonne et les feuilles de sapin sont tellement mauvaises, qu'il ne faudrait s'en servir qu'à la dernière extrémité.

Avant de couvrir la meule, on tâche d'en unir la surface, on remplit avec du bois, tous les intervalles laissés entre les bûches. En même temps, on fait au pied de la meule, 15 cent. au-dessus du sol, une ceinture composée de menus branchages et retenue dans des fourches de bois qui sont plantées en terre. Quelquefois aussi, on remplace ces branchages par de grosses billes de 1 à 1,25 de longueur, écartées l'une de l'autre ou disposées sur des pierres convenablement espacées.

Cette ceinture sert à la fois de point d'appui à la couverture et ménage une issue aux vapeurs qui se produisent au moment de la mise en feu. Lorsque les meules sont grandes et que la pente de leur surface est rapide, on établit à la moitié de leur hauteur une seconde ceinture qui repose également sur des fourches enfoncées dans le terrain naturel.

397. Aussitôt que la meule est préparée de cette manière, on lui donne la première enveloppe composée de gazon ou de substances végétales, en commençant à la partie inférieure. L'épaisseur de cette enveloppe est de 8 à 13 centim., selon la qualité des matières employées: on la renforce à la calotte, afin que le feu qui se porte toujours vers cet étage ne puisse pas l'endommager.

Ce n'est qu'après cette opération préliminaire que la meule reçoit une couverture en terre. L'ouvrier se procure cette terre en creusant des trous, d'où quelquefois il retire aussi l'eau nécessaire à son travail. Une terre trop forte se crévasse par la chaleur, ne cède

pas avec le bois à mesure qu'il s'affaisse et produit des cavités dans l'intérieur. Le sable n'a pas assez de consistance pour adhérer à la couche de feuillage : il ne faut donc employer ni l'un ni l'autre. On peut se tirer d'embarras, en les mêlant, ou, lorsque la terre est légère, en donnant une pente plus douce à la surface de la meule, ce qui pourtant est préjudiciable au succès de la carbonisation.

Le fraisil arrosé d'eau, forme la meilleure couverture; on devrait quand on peut l'avoir, s'en servir à l'exclusion de toutes les autres substances. On peut même se passer alors de la première enveloppe et le mettre avec le bois en contact immédiat.

398. La couverture est en général d'une épaisseur uniforme, hormis à la calotte; on la renforce toutefois aux endroits où, par une raison quelconque, on doit craindre une éruption de la flamme, comme par exemple, au côté le plus long des meules inclinées, aux points où le bois se trouve plus petit, et principalement au côté tourné vers le vent. Le bois humide ou piqué ne doit pas être couvert aussi fortement que le bois sain. La couverture en terre a de 5 à 8 cent. d'épaisseur.

Pour en revêtir les meules, on ne suit pas toujours le même système; ici, on les habille en entier avant leur mise en feu; là, on commence par le sommet; ailleurs, par les parties inférieures, et l'on n'achève l'opération qu'après le dégagement des vapeurs épaisses et jaunâtres. En suivant la première de ces méthodes, on doit ménager à ces vapeurs un libre passage au-dessous de la ceinture; et lorsqu'on y met les soins convenables, ce procédé doit mériter la préférence. En couvrant les meules par parties, on laisse plus

d'issue à l'humidité, on les empêche de se déjeter; mais on consume une trop grande quantité de bois: et le charbonnier qui ne craint pas la peine de construire et de soigner la ceinture, peut éconduire les vapeurs, sans abandonner sa meule sur une si grande surface à l'action de l'air atmosphérique.

399. C'est toujours à la pointe du jour que la meule doit être mise en feu, puisqu'elle exige pendant les 16 premières heures la plus grande surveillance et qu'il est avantageux qu'on ait à cet effet toute une journée à sa disposition. Il ne faut jamais l'allumer quand il fait du vent, le feu se porterait vers un seul côté, inconvénient auquel on ne remédierait que difficilement. Si l'ignition est trop faible, elle ne gagne pas en largeur, les régions inférieures restent froides, ou du moins la chaleur n'est pas assez forte pour chasser l'humidité du bois. Il en résulte une grande perte, et l'opération prend une mauvaise marche, parce que les vapeurs ne s'abaissent pas, pour sortir à travers les espaces vides laissés au-dessous de la ceinture inférieure; et, comme elles sont accompagnées de gaz hydrogène carburé, elles dérangent la meule et produisent des explosions. Il faut donc, en élevant la chaleur rapidement, s'en débarrasser au plutôt et se rendre ensuite maître du feu.

Le bois contenant beaucoup de résine est plus sujet à faire naître des détonnations; il en est de même du bois très-sec, probablement parce que les vapeurs étant moins aqueuses, possèdent une plus grande élasticité. Le meilleur moyen qu'on puisse employer contre ces accidens, c'est de ménager aux gaz un libre passage au-dessous de la ceinture, en ne couvrant la meule à cet endroit, qu'avec du feuillage.

Un grand développement de chaleur, pendant la première période de l'opération, est nécessaire, non-seulement pour chasser les vapeurs, mais aussi pour entretenir la combustion, afin qu'on ne soit pas obligé de conserver par la suite un fort courant d'air. Si le feu est très-faible, la carbonisation ne peut avoir lieu que par une forte ignition du bois; dans le cas opposé, elle s'étend au loin et devient en partie un effet de la température qui règne dans toute la meule. Lorsque l'ignition se propage avec lenteur et que, vu la faible intensité de la chaleur, elle doit se communiquer de proche en proche à toute la masse du bois, les bûches allumées d'abord sont réduites en cendres avant que les autres puissent atteindre leur degré de cuisson.

Les premières vapeurs sont jaunes, aqueuses et pesantes; lorsqu'elles se dégagent, la meule se couvre d'humidité; on dit alors qu'elle est *en sueur*. Quand on l'habille par partie, il faut appliquer la couverture en terre, successivement aux endroits d'où il ne s'échappe plus de ces vapeurs jaunâtres *. Le succès de la carbonisation dépend de la rapide propagation du feu et de son uniformité. Si l'opération est mal conduite, pendant cette première période, la meule se déjette, le charbonnier consomme trop de bois, et prolonge le danger des explosions.

400. Pour accélérer l'embrâsement de la meule, on place autour de la perche, du bois très-sec dont on remplit les intervalles avec des fumerons. Cepen-

---

* Quelle que soit la méthode suivie, la couverture en gazon ou en feuillage doit toujours être donnée à la meule avant la mise en feu.

Le T.

dant, il est visible que par l'incinération d'une partie du bois et par le retrait que subit l'autre en passant à l'état de charbon, il doit se former des espaces vides qui peuvent occasionner un affaissement inégal, et par suite le déchirement de la couverture. Lorsque l'embrâsement est trop lent et que la chaleur est trop faible, pendant la première période, ces accidens, quoiqu'ils arrivent plus tard, se répètent un plus grand nombre de fois; ils sont très-fréquens, si le bois est humide, parce qu'il laisse dégager plus long-temps des vapeurs épaisses et jaunâtres, et qu'il prend un retrait plus considérable.

On prévient les suites de ces accidens en remplissant les espaces vides à mesure qu'ils se forment. Pour cet effet, le charbonnier monte sur la meule, la découvre au sommet, refoule le bois et le charbon, à l'aide d'une grande perche et remplit ensuite le trou qu'il vient de former, soit avec des fumerons ou du bois, soit même avec du fraisil, qu'il ne doit employer toutefois que dans les cas d'urgence, et seulement pour les meules dont les bûches sont placées de bout, attendu que cette substance s'oppose à la circulation du feu et de la chaleur. Cela fait, l'ouvrier remet la couverture dans son premier état; cette opération exige autant de précaution que de promptitude.

401. Lorsque la meule a été entretenue assez long-temps en sueur, on couvre le dessous de la ceinture avec du fraisil. On renforce la couverture avec des matières fraîches; on la resserre sur le bois à coups de perche, afin de boucher toutes les crevasses. On la laisse dans cet état pendant deux ou trois jours, en la maintenant à une chaleur uniforme.

Le charbonnier, dont le soin principal consiste alors

à empêcher que le feu ne déploie sur quelque point une trop grande activité, couvre plus fortement le côté d'où vient le vent, celui qui est le plus bas dans les meules dont la base n'est point horizontale, ainsi que les endroits où sont placés les bois menus ou tendres.

Le fourneau doit s'affaisser uniformément; le contraire est un indice d'un tirage trop fort, et dans ce cas, on obtient du charbon médiocre et en petite quantité. Si en renforçant la couverture sur un côté, on n'atteint pas le but qu'on se propose, il faut la percer de plusieurs trous au point opposé. Ce cas arrive fréquemment avec le bois pourri ou les meules qui sont déjetées.

402. Le dégagement des vapeurs acides et oléagineuses finirait bientôt par étouffer le feu et arrêter l'opération, si l'on n'activait pas la combustion à l'aide des soupiraux pratiqués dans la couverture, qu'on perce avec le manche de la pelle. Mais le charbonnier doit procéder à cette opération avec beaucoup d'intelligence, soit pour ne pas embrâser la meule trop fortement, soit pour ne point attirer le feu sur un point plutôt que sur un autre. Le travail est d'autant mieux conduit que le courant d'air est plus faible et que la *cuisson* s'exécute avec plus de lenteur. L'ouvrier qui veut pousser son fourneau en augmentant le courant d'air, obtient toujours de mauvais charbon et en petite quantité.

403. On dirige le feu à l'aide des soupiraux pratiqués au pied de la meule. Leur nombre dépend de la plus ou moins rapide ignition du bois; ils sont espacés de plusieurs pieds. On les ferme entièrement aux endroits où le feu se porte avec violence. La manière de procéder avec ces soupiraux, quant à leur

nombre et à leur grandeur, exige beaucoup de ménagement, sur-tout dans les premiers jours et lorsque le bois est humide ou gâté, afin qu'il ne s'en brûle pas une trop grande partie.

La meule conserve les soupiraux inférieurs durant toute la cuisson : elle reste dans le même état, sans en recevoir d'autres de 4 à 8 jours, ou pour mieux dire, jusqu'à ce que les espaces vides qui se forment par le retrait du bois, aient été remplis une deuxième fois. Le charbonnier reconnaît la nécessité de cette opération par l'affaissement de la calotte. Après l'avoir terminée et après que le feu ne se porte plus dans la partie supérieure, il perce la couverture d'un certain nombre de trous au milieu de la hauteur du fourneau, ou à la rencontre de l'étage du milieu et de celui de la base.

404. Les grandes meules reçoivent quelquefois aussi une troisième série de soupiraux qui se rapproche davantage du sommet. Ce procédé est assez vicieux : le feu n'a qu'une trop forte tendance à se porter dans les parties supérieures : on ne pourrait donc avoir pour but que d'abréger le temps de la cuisson, ce qui serait une mauvaise manière d'opérer. Le bois contenu dans la calotte, peut se carboniser sans qu'il soit besoin de le mettre en combustion par un courant d'air ; la chaleur est toujours assez forte dans les régions élevées ; au lieu d'y favoriser le tirage, il faut plutôt l'empêcher, pour obtenir de bons produits et en grande quantité.

405. On acheverait la carbonisation en entier, et probablement de la manière la plus avantageuse, en ne faisant usage que des soupiraux inférieurs ; parce qu'il ne s'agit que de modérer le feu, de le diriger

et de l'attirer toujours vers la base. La deuxième série de soupiraux n'a réellement d'autre but, que de favoriser la carbonisation du bois placé à la surface de la meule; parce qu'en contact avec la couverture que l'on arrose fréquemment, ce bois qui est très-humide se carbonise avec lenteur. On doit donc en faciliter l'ignition: mais il ne faut pas que les ouvreaux soient très-rapprochés entre eux; le côté d'où vient le vent, doit en être privé totalement.

Ces trous restent ouverts tant qu'ils exhalent une vapeur noire et épaisse; on les ferme aussitôt que cette vapeur devient légère et bleuâtre, ce qui est un indice d'une entière cuisson des charbons vers cette hauteur. Alors à un pied plus bas, on perce la couverture d'une troisième série de soupiraux qu'on ferme quand ils commencent à rendre une vapeur légère; on continue de cette manière, jusqu'à ce qu'on soit arrivé aux soupiraux du pied de la meule. Si donc les bûches avaient quatre pieds de longueur, il faudrait à peu près trois séries intermédiaires d'ouverture.

Il est presque superflu de rappeler que pendant les jours où il fait du vent, on doit diminuer le nombre des ouvertures, humecter l'enveloppe et la resserrer à coups de perche.

406. Nous voici à la fin de la cuisson. La flamme commence à s'échapper par les soupiraux de la base; le manque de zèle ou de précaution de la part de l'ouvrier peut occasionner en ce moment une inutile combustion de charbons. Le travail a été parfaitement bien conduit, lorsque le feu perce à la fois par toutes les ouvertures inférieures. Si dans un endroit, il tarde à paraître, c'est que le bois n'y est pas entièrement carbonisé; on fait alors à ce point, dans la couverture,

plusieurs trous et l'on bouche en même temps tous les autres. Cette inégale cuisson provient ou d'un mauvais dressage ou de grosses bûches ou des fautes qu'on aura commises en gouvernant le feu.

La meule a changé de forme par suite de la carbonisation : non-seulement elle est devenue plus petite par le retrait du bois, mais la surface n'en est plus aussi régulière; elle présente des dépressions plus ou moins considérables, selon la manière dont l'opération a été conduite. On peut donc, par l'aspect du tas, juger en quelque façon de la qualité du charbon.

Un temps calme et peu humide est favorable à la carbonisation, si toutefois la meule n'est plus *en sueur*; l'humidité de l'air et les petites pluies entretiennent la couverture en bon état.

407. Après avoir achevé la cuisson, on doit boucher toutes les ouvertures de la meule, la mettre à l'abri du contact de l'air atmosphérique et la laisser ainsi pendant 24 heures ; c'est ce qu'on appelle *la rafraîchir*. En la maintenant dans cet état assez long-temps, on parviendrait à éteindre le feu entièrement; mais ne pouvant fermer tout accès à l'air, on éprouverait une perte considérable. L'expérience a prouvé d'ailleurs que les charbons étouffés de cette manière, ne sont pas d'une très-bonne qualité.

Au bout de 24 heures, on nettoie la meule. Le charbonnier enlève la première couverture avec un balai et la deuxième avec un rateau. Il choisit ensuite le sable ou le fraisil le plus fin et en recouvre toute la surface du tas. Les grains de ces matières s'insinuent entre les charbons, et finissent par les éteindre. La pluie est très-préjudiciable à cette opération.

408. La meule traitée de la sorte, reste 12 ou 24

heures, ou plusieurs jours dans le même état, selon les moyens de transport dont on peut disposer. Pour *tirer* le charbon, l'ouvrier fait à la base une ouverture, qu'il referme avec du sable ou du fraisil, aussitôt que sur ce point, il a fait un certain vide; il continue de la même manière dans tout le pourtour, en rassemblant les charbons avec un rateau sur un tas alongé.

L'endroit de la meule où l'on commence à tirer le charbon, est balayé d'abord, ce qui fait tomber le sable qui doit étouffer le feu. La première fois on enlève le combustible sur une largeur de 3 ou 4 pieds; l'opération étant terminée sur tout le pourtour, on laisse reposer la meule de 12 à 24 heures pour achever de l'éteindre; on reprend le travail, mais avec cette différence qu'on enlève les charbons de la zône qui est immédiatement au-dessus de la précédente et sur une largeur moins considérable. On continue ainsi jusqu'à ce qu'on soit arrivé au sommet; cela fait, on recommence par la base.

Lorsqu'on exécute cette opération, il faut éviter, autant qu'il est possible, les jours où il fait du vent. L'ouvrier doit user de ménagement pour ne point briser les charbons; il doit les examiner avec attention et éteindre avec de l'eau ceux qui sont encòre allumés: il ne faut pas employer le sable à cet effet, à moins qu'on ne puisse se procurer de l'eau dans le voisinage.

409. Le temps qu'exige la meule, pour parvenir à la fin de la cuisson, depuis le premier moment de la mise en feu, dépend et de son volume et de son traitement. Six jours suffisent aux petites meules, il en faut 28 ou 30 pour celles qui ont de fortes dimensions. Lorsqu'elles contiennent 3000 ppp., on compte à peu près sur 14 à 16 jours. Le bois dur demande plus de

temps que le bois tendre, le bois humide ou vermoulu plus que le bois sec et sain : le produit est meilleur et plus abondant, si la cuisson est lente. Mais il arrive souvent que des charbonniers, qui ont des manœuvres à leur solde, poussent les fourneaux de crainte d'éprouver des pertes. Il faut donc que le tarif de leur payement soit proportionnel à la quantité de charbon retiré du bois, qu'ils soient indemnisés sur ce pied pour le dressage, et qu'ils reçoivent en outre une prime lorsqu'ils dépassent une quantité fixée d'avance, celle, par exemple, de 48 parties de charbon, pour 100 de bois mesurées au volume *.

---

* Pour compléter ce qui vient d'être dit sur la carbonisation du bois, nous allons extraire d'un autre ouvrage de M. Karsten (*Voyage métallurgique dans les provinces méridionales de l'Autriche*), la description d'une méthode suivie en Carinthie, près de Friesach.

Le bois que l'on carbonise au fourneau de St.-Salvator, se compose d'un tiers de sapin et de deux tiers de pin et de melèze. Les meules contiennent de 80 à 90 cordes qui font un volume de 16,960 à 19,440 pieds cubes, puisqu'elles ont chacune 6 pieds dans toutes les dimensions. Les bases de ces grandes meules sont formées d'une espèce de grille en bois. Après avoir aplani le terrain et tracé un cercle, on place d'abord quelques bûches dans le sens des rayons; on les couvre ensuite par d'autres bûches transversales, pour faire une plate-forme, sur laquelle doivent s'élever ces énormes massifs, composés de quatre étages.

Les billes, qu'on fend rarement, se débitent à la scie et reçoivent toutes la même lougueur. Les ouvriers mettent une grande attention à serrer ces blocs le plus possible, et sur-tout à remplir les espaces extérieurs avec du menu bois, pour unir la surface de la meule. Ce petit bois se carbonise parfaitement sans être trop endommagé, parce que l'humidité du bouge le préserve de la combustion. C'est même pour cette raison qu'on ne pourrait placer en dehors de très-gros bois.

La couverture qui a deux pieds d'épaisseur vers la base, consiste en fraisil humecté d'eau. On l'applique d'abord sur la pile inférieure ou premier étage, et ensuite sur la partie supérieure où elle est

410. Quelles que soient les précautions employées dans ce travail, on obtiendra toujours des fumerons, surtout en opérant sur un sol imprégné d'eau, et en

---

bien plus mince; mais on la serre contre le bois, à coups de pelle et de battoir. Une perche s'élève, comme à l'ordinaire, du centre de la base au sommet du bûcher. On ménage au pied de cette perche un vide qu'on remplit de bois sec et résineux.

On allume la meule par le haut. C'est aussi dans la calotte qu'on pratique la première série d'ouvreaux; on perce ensuite la couverture d'autres trous, en se rapprochant de plus en plus du sol, pour attirer le feu à la partie inférieure ou aux endroits qui ne sont pas encore embrâsés, jusqu'à ce qu'on soit arrivé à la base de la meule. La nécessité de fermer les trous supérieurs et d'en ouvrir d'autres, se reconnaît à l'aspect de la vapeur sortant par les premiers; on n'y procède, en carbonisant du sapin, qu'au moment où ces vapeurs deviennent légères et bleuâtres. Mais, si la meule se compose de pin ou de bois dur, on ferme les trous plus tôt, parce que ces essences produisant plus de chaleur, dépasseraient le point de cuisson voulu, si on les traitait comme les bois tendres.

On remplit le vide qui se forme par la combustion, soit avec des fumerons, soit avec du fraisil, lorsque l'embrâsement est devenu général.

On obtient de 10 à 20 pour cent de charbon en moins, si les billes, au lieu d'être sciées et carbonisées en grumes, sont coupées à la hache et fendues ensuite. On croit qu'il est toujours désavantageux de fendre le sapin, quelle que soit sa grosseur; et l'on ne fend les billes de pin ou de bois dur, que lorsqu'elles ont au moins 10 pouces de diamètre.

La corde de 216 pieds cubes donne de 11 à 12 mesures de charbon dont chacune a 15 pieds cubes et demi de capacité. En sorte qu'on tire du bois de 0,71 à 0,86 de charbon par volume.

L'extrême abondance de ce produit doit être attribuée sur-tout à la grosseur et à la longueur des bûches, dont l'effet est de réunir une plus grande masse de bois sous un même volume. Il faut avouer pourtant, que le procédé que nous venons de faire connaître est préférable à la méthode ordinaire, si la faulde n'est point établie sur une grille de bois, et que la couverture manque de compacité.

Le T.

traitant du bois humide. Il faut donc rassembler les fumerons vers la fin de la campagne et en achever la carbonisation.

En tirant les charbons, on en fait un triage selon leur grandeur; ceux qu'on obtient d'abord sont toujours les plus gros, parce que les bois placés vers le centre se consument davantage. Les plus grands sont destinés pour le haut fourneau, les petits pour les feux d'affinerie, et la braise, autrement appelée les *cœurs* *, pour le grillage des minérais et la préparation de la chaux.

Après avoir tiré les charbons, on les laisse encore une journée dans la *coupe*, pour s'assurer qu'ils ne contiennent plus de feu; mais ensuite, il faut les enlever avec promptitude, sur-tout lorsque le temps est à la pluie. On doit exécuter le chargement et le transport des charbons avec ménagement, pour ne pas les écraser. On emploie, pour le transport sur essieux, de longs paniers appelé *bannes*. Il est essentiel de prévenir la fraude des charbonniers et des voituriers, qui souvent rétrécissent les bannes avec des coins et des poutrelles, ou les serrent avec des chaînes et des cordages.

411. L'expérience a prouvé que les charbons récemment sortis de la meule, brûlent avec plus de facilité et produisent moins d'effet qu'après avoir séjourné quelques mois dans les halles. Il est difficile d'expliquer ce phénomène, qui ne dépend peut-être que d'un arrangement particulier de leurs fibres. M. Hassenfratz rapporte un essai fait en décembre 1809, dans un haut fourneau des forges de Beauchamp, avec des

---

* Les cœurs sont les plus petits charbons qui sont au centre de la meule.

Le T.

charbons frais et des charbons conservés deux années dans les halles. Les premiers portèrent moins de minérai et donnèrent à égale quantité de minérai une fonte moins chaude. Il ne paraît pas que cet effet puisse être attribué à un changement de composition survenu dans les halles; car les charbons trop cuits, éteints spontanément, brûlent aussi avec une grande rapidité, sans donner beaucoup de chaleur.

Quoiqu'on ne doive pas user de charbons nouvellement cuits, il est cependant plus désavantageux encore de les conserver long-temps en plein air. L'humidité de l'atmosphère, lorsqu'ils en sont pénétrés, les détériore complétement : il faut donc les mettre à couvert sous des hangars.

Ce n'est que dans des circonstances extraordinaires, quand, pour des causes accidentelles, on est obligé de donner un plus grand développement à la carbonisation, qu'on doit entasser et conserver les charbons en plein air. On place alors les plus gros entremêlés de branchages, pour consolider le système, vers la surface du tas; mais une grande partie s'écrase et le déchet est considérable. Si l'on construit ces tas dans les forêts, il faut choisir des emplacemens secs, aérés et non ombragés; mais il vaut mieux les établir à côté de l'usine, parce que les charbons qui ont séjourné à l'air sont trop sujets à se briser dans le transport : on doit d'ailleurs les couvrir pour les protéger contre la pluie; ils seraient perdus sans cette précaution qui est indispensable.

412. Le charbon végétal qui est d'une bonne qualité, doit se consumer lentement à l'air atmosphérique, sans brûler avec flamme; il ne doit être ni friable ni tachant; il faut qu'il soit dur, compacte, aigre,

sonore, d'une couleur noire parfaite, d'une pesanteur spécifique moindre que celle de l'eau ; enfin sa cassure doit être brillante et conchoïde.

Les métallurgistes sont encore divisés dans leurs opinions sur la qualité des charbons obtenus, soit dans des meules qui sont grandes ou petites, dont le bois est couché ou debout ; soit dans des fourneaux. Nous avons fait observer déjà que les charbons de bois humide ou pourri, ainsi que les charbons trop cuits, brûlent facilement sans produire d'effet.

L'opinion de Garney sur les charbons obtenus par la distillation n'est nullement fondée : ces charbons sont d'une excellente qualité, portent beaucoup de minérai, et donnent, par conséquent, un haut degré de chaleur ; mais ils exigent naturellement un vent plus fort *. En général, l'effet des charbons a volume égal dépend entièrement de leur pesanteur spécifique. Les charbons les plus lourds sont aussi les moins inflammables et demandent, pour brûler, un vent plus rapide ou un air plus comprimé.

Les charbons pénétrés d'eau, c'est-à-dire, ceux qui ont éprouvé long-temps l'humidité de l'atmosphère (une pluie passagère ne leur fait point de mal), ne peuvent plus servir aux travaux métallurgiques : ils ne

---

* Il est possible que le charbon provenant d'une lente distillation du bois, dans des vaisseaux clos, puisse être d'une très-bonne qualité ; mais ce n'est pas ce procédé qu'on suit pour l'ordinaire dans les fabriques d'acide ou de goudron, parce que le produit principal en serait diminué. On est donc obligé de donner un coup de feu violent pour terminer l'opération en cinq ou six heures ; le charbon devient alors léger comme celui qui, dans les meules, a éprouvé une chaleur trop intense ou trop prolongée.

Le T.

brûlent qu'à force de vent, et toute la chaleur semble alors être employée à la vaporisation de l'eau qu'ils contiennent. L'effet des charbons dépend donc de leur siccité, de leur pesanteur spécifique et de la densité de l'air dans lequel ils doivent brûler. Les charbons les plus pesans exigent aussi un air plus dense pour donner le degré de chaleur qu'ils sont susceptibles de produire.

DE LA TOURBE ET DU CHARBON DE TOURBE.

413. La tourbe, dont la formation est si nouvelle, présente, comme on doit s'y attendre, de nombreuses variations dans ses parties composantes et dans les effets qu'elle produit, comme matière combustible. Cette différence doit dépendre en quelque sorte, des plantes auxquelles elle doit son origine; mais ne connaissant pas la nature des plantes dont les débris composent la tourbe, par une simple aglomération, nous ne pouvons juger à *priori* de sa combustibilité.

Beaucoup de tourbes sont si intimement mélangées avec des terres, des sulfures et des phosphures de fer, qu'on ne pourrait les en séparer, à moins de détruire le tissu et de changer la nature de ces combustibles. D'autres espèces ne sont formées que de plantes et ne donnent pour résidu de l'incinération que les cendres contenues dans ces végétaux. C'est cette grande différence dans la dose des terres combinées ou mélangées avec la tourbe, qui modifie l'effet qu'elle produit dans la combustion. Son inflammabilité et la chaleur qu'elle peut développer, dépendent donc de la pureté de sa composition et de sa pesanteur spécifique. Il en est de très-légères, contenant très-peu de matières combus-

tibles sous un volume donné ; et d'autres, qui aussi pures que celles-ci, sont pesantes et composées de filandres tellement serrées entre elles, que pour leur effet, elles peuvent égaler les bois blancs.

C'est d'après leur plus ou moins grande pureté et d'après la compacité de leur tissu, qu'on distingue les tourbes par la désignation de *piciforme*, *limoneuse*, *papiracée* et *filandreuse :* cette division n'est motivée par aucune raison scientifique. Souvent aussi elles tirent leur nom du lieu d'où elles proviennent, parce qu'elles ne portent pas un caractère distinctif qui puisse servir de base à une classification raisonnée. On ne peut bien juger de leur qualité que par la combustion ; elles sont d'autant meilleures qu'elles s'allument avec plus de facilité, qu'elles brûlent plus long-temps et qu'elles laissent moins de cendres.

414. Ce qui précède peut expliquer les nombreuses contradictions qu'a fait naître la comparaison de l'effet de la tourbe avec celui du bois. Il ne faudrait jamais oublier de faire mention dans ces essais, ni de la pesanteur spécifique du combustible, après l'avoir desséché à la chaleur de l'ébullition de l'eau, ni de la quantité de cendres qu'il fournit.

La terre mélangée dans la tourbe est nuisible, non-seulement parce qu'elle occupe l'espace où pourrait être de la matière combustible, mais aussi parce qu'elle retarde la combustion par la grande quantité de cendres qui empêche le contact de l'air atmosphérique. L'influence que la nature des plantes peut exercer sur la chaleur produite, reste entièrement inconnue. La tourbe est d'autant plus mauvaise, qu'elle est plus légère et qu'elle donne plus de cendres. Il en est qui contient une si grande quantité de terre, qu'elle ne peut servir à aucun usage.

415. La tourbe pure s'emploie avec beaucoup de succès pour tous les feux de flamme. M. Wagner conclut de ses expériences, que dans les fours à tôle, on use un peu plus de deux fois autant de tourbe que de bois, mesurés au volume. Desséchée, on peut l'employer pour refondre le fer cru; mais on doit établir alors un tirage considérable dans les fours à réverbère. Elle est d'un très-bon service dans les verreries et les manufactures de porcelaine. Ce sont les localités, le point de vue commercial qu'on doit interroger sur la préférence que mérite le bois ou la tourbe. Il est essentiel d'avoir pour chaque cas particulier une connaissance exacte de leurs prix et des effets qu'ils peuvent produire, d'autant plus que la tourbe est soumise à de si grandes variations, qu'on ne peut établir à ce sujet une règle générale.

416. MM. Mushet, Thomson et Bucholz, ont fait des expériences sur les quantités de charbon renfermées dans des tourbes.

Celles qui ont été examinées par Mushet, contenaient de 0,151 à 0,252 de charbon, de 0,726 à 0,728 de substances volatiles dégagées par la carbonisation, et de 0,022 à 0,121 de cendres. Si l'on admettait qu'il n'y a point de cendres perdues dans la carbonisation, il s'ensuivrait que ces charbons de tourbe en contiendraient de 0,08 à 0,44 parties.

Une espèce de tourbe soumise à l'expérience par Thomson, donna 0,24 de charbon, 0,017 de cendres, et 0,743 de parties volatiles. Le charbon contenait donc 6 et demi pour cent de cendres.

Quatre espèces de tourbes analysées par Bucholz, donnèrent 0,255 de charbon, 0,215 de cendres, et 0,53 de parties volatiles: c,19 de charbon, 0,23 de

cendres, et 0,58 de parties volatiles; 0,165 de charbon, 0,305 de cendres, et 0,53 de parties volatiles : 0,17 de charbon, 0,30 de cendres et 0,53 de parties volatiles. Il s'ensuivrait donc que les charbons de ces tourbes contiendraient 45 et demi, 54 trois quarts, 65 et 64 pour cent de cendres.

La tourbe donne par la carbonisation les mêmes produits que le bois; mais on en retire, à ce qu'il paraît, moins d'acide et toujours une certaine dose d'ammoniaque.

417. La grande quantité de cendres laissée par la tourbe doit inspirer quelque méfiance sur son emploi, dans le traitement des métaux qui doivent être mis en contact immédiat avec les combustibles. Ajoutons qu'elle contient presque toujours des pyrites dont le soufre agit d'une manière nuisible sur les produits.

Les essais les plus positifs sur l'emploi de la tourbe crue dans les hauts fourneaux, sont dus à M. Wagner : il en résulte, ainsi que des expériences qu'on a faites dans un haut fourneau près d'Admont, en Styrie, au pied du mont Lichtmesberg et dans les usines royales de Malapane et de Creutzbourg (Haute-Silésie) :

1°. Que la tourbe crue ne peut être substituée au charbon de bois; que cependant on peut ajouter à ce charbon un tiers de bonne tourbe desséchée prise au volume, lorsque le fourneau est en bonne allure ;

2°. Qu'on épargne par cette addition un cinquième ou un quart de charbon;

3°. Que la grande quantité de cendres rend les laitiers visqueux et avides de fer;

4°. Qu'il faut, pour régler le fourneau, cesser de temps à autre d'employer la tourbe;

5°. Qu'elle diminue le produit des minérais ainsi

que la production journalière, et que son emploi n'est pour cette raison d'aucun avantage, du moins pour les fourneaux, qui avant la mise hors, doivent faire de longues campagnes *.

L'économie en charbon que produit l'emploi de la tourbe crue, ne peut offrir un dédommagement des dépenses qu'occasionnerait l'augmentation de la masse du combustible employé alors, et de tous les inconvéniens qui résultent du mélange. Il n'est point douteux qu'on ne puisse employer la tourbe toute seule au traitement des minérais, sur-tout quand on connaîtra mieux la composition des cendres; mais on en brûlerait une si grande quantité que les frais de l'extraction du fer en dépasseraient la valeur : le travail serait extrêmement difficile, les engorgemens de l'ouvrage très-fréquens et la fonte surchargée de métaux terreux.

En carbonisant la tourbe, on en diminuerait le volume, mais la quantité de cendres resterait la même, et c'est là que gît la difficulté. La seule différence qui pourrait en résulter, ce serait une économie en combustible, économie qui serait payée chèrement par les frais de carbonisation.

L'emploi de la tourbe crue pour *l'affinage de la fonte*, n'a pas eu un succès plus heureux. C'est encore à M. Wagner que nous devons à ce sujet des expériences précises. En ajoutant à la masse du combustible ordinaire, un sixième en tourbe crue, il n'a éco-

---

* Les essais de M. Wagner, ne me semblent pas entièrement d'accord avec ces conclusions : cet auteur est très-disposé à croire que la tourbe crue ne peut servir aucunement au traitement de minérais de fer. Voyez le Journal des Mines, nos. 81 et 82.

Le T.

nomisé qu'un dix-huitième de charbon; mais le fer est devenu brisant à chaud, et la fonte a subi un déchet très-considérable. Si la tourbe contenait une grande quantité de cendres, il se pourrait même que l'affinage devînt impraticable; parce que tout le métal serait employé à la vitrification des terres. Il s'ensuit que dans cette opération, le charbon de tourbe, quoique préférable à la tourbe crue, ne donnerait point de résultats avantageux.

Mais, dans tous les travaux où il ne s'agit que de chauffer le fer, les maîtres de forges, lorsqu'ils peuvent avoir la tourbe à bon compte, devraient s'imposer l'obligation de l'employer: à l'état cru, elle alimente les fours à réverbère; carbonisée, elle remplace le charbon de bois dans les feux de chaufferie, de casserie, de platinerie, de rebatterie de boulets, etc., etc.

D'après les expériences qu'on a faites dans les forges de Creutzbourg, en 1797, le charbon de tourbe brûlé dans un feu de chaufferie pour la fabrication de la verge crenelée, a rendu presque le même service qu'une égale quantité de charbon de bois prise au volume. Il faut ajouter encore que dans ces feux, la tourbe crue comme le bois, brûlerait trop rapidement sans agir avec assez de force sur un seul point, et que, par le dégagement d'une si grande quantité d'hydrogène qui absorberait une partie du calorique, la chaleur deviendrait extrêmement passagère.

Les cendres de tourbe si nuisibles dans le haut fourneau, vu leur grande abondance, produisent dans les foyers de chaufferie un bon effet; elles sont vitrifiées à la chaleur blanche et fournissent au fer une enveloppe qui le protége contre l'action de l'air, sans augmenter le temps de l'échauffement. Plus légère que le charbon

de bois, la tourbe carbonisée brûle déjà avec beaucoup de flamme dans un air qui n'a qu'une faible pression. On pourrait donc employer plus utilement la chaleur dégagée, en couvrant le foyer d'une voûte.

N'ayant pu nous procurer de bonne tourbe dans la Haute-Silésie, nous avons été forcé d'interrompre les expériences; mais je regarde comme un devoir de ma part de recommander l'usage des charbons de tourbe pour les feux de chaufferie.

418. Le sidérurgiste chargé souvent de l'extraction de la tourbe, doit avoir des notions sur les procédés à suivre pour ouvrir et exploiter les tourbières; il doit savoir coordonner les fossés d'écoulement, diviser le banc, le déblayer, l'attaquer à l'endroit convenable pour obtenir l'entaille la plus profonde, et distinguer les saisons dans lesquelles ces travaux doivent s'exécuter. La tourbe coupée d'après les dimensions prescrites, est mise en tas ou en piles pour être séchée, et carbonisée ensuite ou conservée sous des hangars. Celle que l'on veut convertir en charbon doit avoir acquis un très-haut degré de sécheresse; humide, elle se carbonise difficilement, subit un grand déchet et donne un mauvais produit.

419. On carbonise la tourbe dans des fourneaux, dans des fosses ou en meules. La carbonisation en meules ou en plein air mérite la préférence sur les autres méthodes, parce que le charbon y reçoit une cuisson plus complète.

Pour carboniser dans les fourneaux, on fait usage de vaisseaux en fer qu'on chauffe extérieurement; ce procédé, quoique dispendieux, ne donne pas de très-bons produits. On peut employer aussi des fourneaux construits en pierres et pourvus de grilles, comme

les fourneaux qui servent à carboniser le bois; mais il arrive souvent qu'une grande partie du charbon étant trop brûlée, passe à l'état de braise avant que l'autre ait subi l'action du feu: car la tourbe, pour être parfaitement carbonisée, demande un degré de chaleur plus considérable que n'en exige le bois.

On carbonise la tourbe dans des fosses, en faisant dans la terre un trou circulaire de 3 pieds de diamètre et de 3 pieds de profondeur; on le remplit de tourbe qu'on y dispose de manière à laisser dans l'axe du trou, un vide de 6 pouces de diamètre. On place à la base de cette espèce de cheminée, du menu bois pour déterminer la combustion. Après que la fosse a été quatre heures à peu près en feu, la flamme perce en dehors, et les morceaux de tourbe commencent à s'affaisser; on se dépêche alors de les recouvrir de gazon et de terre pour étouffer le feu. Au bout de 24 heures, le charbon est presqu'entièrement éteint. Mais il n'est guère possible que par cette méthode la carbonisation puisse pénétrer dans toute la masse du combustible. Ne pouvant diriger le feu, on obtient beaucoup de braise et de fumerons. Il arrive souvent qu'un des côtés est réduit en cendres, tandis qu'au point opposé, on retrouve encore de la tourbe crue.

Les morceaux de tourbe, pour être carbonisés en meules, sont disposés en tas réguliers, et de manière à ne laisser entr'eux que le moins d'intervalle possible; c'est une raison de préférer cette méthode à la carbonisation dans des fourneaux, qui sont presque toujours chargés tumultueusement. La tourbe destinée à être convertie en charbon, reçoit des dimensions plus considérables qu'on n'en donne à celle qui est brûlée à l'état brut: cette dernière a ordinairement 15 pouces

de longueur, 6 de largeur et 5 d'épaisseur : elle doit être, comme nous l'avons déjà fait observer, dans un état de siccité parfaite.

Les meules de tourbe sont construites et traitées de la même façon que les meules de bois; mais elles sont plus petites : il y entre tout au plus 5 à 6000 pièces, ce qui fait un volume de 1500 pieds cubes. On les allume à l'aide de bois résineux placés au centre de la base; après avoir préparé la faulde, on y dresse un mât autour duquel on range les morceaux de tourbe en cercles concentriques, et de manière qu'ils soient placés de champ et inclinés vers le centre. On établit au niveau de la base et sur les points cardinaux, quatre galeries dont on se sert pour allumer la meule, pour fournir l'air nécessaire à la combustion, et pour gouverner le feu; elles sont assez spacieuses pour recevoir un morceau de tourbe entier. Afin d'assurer la régularité de la construction, on attache à l'extrémité du mât, une corde avec laquelle on trace les cercles concentriques. La rapidité de la pente qu'il faut donner aux meules, ne dépend que de la substance terreuse qui doit servir de couverture.

Lorsque la meule est construite, elle reçoit d'abord la première enveloppe composée de feuillage, de bruyère, de mousse ou de gazon, et ensuite la couverture en terre; mais le sommet, sur un espace d'un pied carré, reste à découvert. Ensuite on allume, à l'aide d'une des galeries horizontales. On ferme les *ouvreaux* exposés au vent, et on laisse plus ou moins de jour aux autres; aussitôt que la flamme commence à se montrer, on couvre aussi le point culminant, et l'on pratique des soupiraux dans la calotte.

L'aspect de la fumée qui s'échappe par les ouvreaux

de la meule, joint à la plus ou moins grande facilité avec laquelle on perce la tourbe au moyen d'une broche en fer, servent à faire juger du degré de cuisson.

Si la carbonisation paraît terminée, on bouche les ouvreaux de la calotte; on en fait une deuxième série, à un pied au-dessous de la première, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on soit arrivé au pied de la meule.

La tourbe doit être attaquée par le feu, plus fortement que le bois, parce qu'elle brûle avec plus de difficulté; cependant, il en existe, dont la carbonisation, comme celle du bois, demande beaucoup de ménagement. Les meules sont nettoyées et refroidies de la même manière que les meules de charbon de bois. Si le travail a été bien conduit, on obtient de 30 à 40 pour cent de tourbe carbonisée *.

DE LA HOUILLE ET DU COKE.

420. Les minéraux combustibles, qui, par la distillation, donnent du charbon pour résidu, s'appellent communément *matières charbonneuses*. Elles sont au charbon qu'on en retire, ce que le bois est au charbon de bois. De même que Rumford, par suite

* En distillant la tourbe dans une cornue, M. Blavier a obtenu à peu près 0,40 de charbon au poids, produit qui paraîtrait au premier abord plus avantageux que le rapport indiqué par M. Karsten: mais comme M. Blavier avait pour but d'examiner l'avantage que pouvait offrir l'emploi du charbon de tourbe substitué au charbon de bois dans le vallon de la Vesle, il a évalué en argent le combustible brûlé sur la grille; de sorte que ses données ont perdu de leur généralité et ne peuvent plus être comparées à celles qu'indique M. Karsten. Voyez les Annales des Mines, tome 4, p. 177 et suivantes.

Le T.

de ses expériences, admet que le charbon est entièrement formé dans le bois, on peut croire avec Proust, qu'il est tout formé aussi dans les substances charbonneuses du règne minéral. Mais on ne l'obtient pas en entier, puisqu'une grande partie entre dans la composition des différens produits de la distillation.

Il paraît donc que le résidu doit son existence, non-seulement à la quantité de carbone contenue dans le corps, mais aussi aux proportions des divers composans, et qu'on peut regarder le charbon, tout aussi bien que les autres produits, comme formé par la distillation. Les substances résineuses analysées par M. Hachett, en fournissent un exemple frappant : mises en digestion dans l'acide sulfurique, elles ont donné de 0,43 à 0,67 de charbon; tandis que, distillées dans des vaisseaux clos, chauffés jusqu'au rouge, elles n'en ont laissé que de 0,005 à 0,045. Le copal qui, traité par l'acide sulfurique, donne, d'après ce même chimiste, 0,67 de charbon, serait certainement compté parmi les matières charbonneuses, si, par la voie ordinaire, on pouvait en retirer une si grande quantité.

En considérant que, traité par divers acides, un combustible ne produit pas toujours la même dose de charbon, et que certaines houilles en donnent par l'acide sulfurique au-delà de leur propre poids, on doit être convaincu que les charbons obtenus par la voie humide ou par la voie sèche n'ont pas la même composition.

La quantité de charbon retirée d'un combustible par distillation, dépend donc autant des proportions entre ses divers composans que du carbone qu'il renferme : le bois qui, d'après les analyses de MM. Gay-Lussac et Thénard, ne contient que 0,50 de charbon, en fournit

cependant de 0,30 à 0,43; tandis que le copal qui en contient 0,17 de plus, en donne beaucoup moins. Cette dénomination de matière charbonneuse appliquée aux combustibles minéraux d'une couleur brune ou noirâtre, est très-inexacte parce qu'elle paraît supposer l'existence du charbon formé dans ces corps, ce qui n'est pas mieux prouvé que pour le bois.

421. Il semble résulter de l'expérience, que l'inflammabilité des combustibles, et particulièrement des substances minérales dites charbonneuses, est en rapport inverse avec la quantité de charbon qu'on peut en retirer par la distillation; et que la combustibilité de ces charbons dépend de celle des substances d'où ils proviennent. Il paraît ensuite que cette combustibilité se trouve modifiée par des propriétés purement mécaniques, en ce que tous les charbons obtenus dans des vaisseaux clos, sont moins inflammables, plus compactes et plus pesans que ceux qui, provenant de la même substance, ont été cuits en meules, parce que, distillés à l'air libre, ils peuvent se dilater davantage *.

422. Les minéralogistes divisent la houille en houille brune **, houille noire et houille éclatante ou anthracite; Werner ajoute encore à cette division le charbon minéral comme une quatrième espèce. Les transitions de l'une à l'autre sont insensibles; il existe des échantillons qui laissent toujours quelque doute sur leur classement. La raclure jointe à l'éclat ne suffisent point pour faire juger de l'emploi

---

* Voyez la note que nous avons ajoutée au paragraphe 412.
** Houille brune, braunkohle.

Le T.

qu'on doit en faire dans les différens travaux métallurgiques. La houille brune donne en général moins de charbon que la houille noire, et celle-ci moins que l'anthracite. Mais ce n'est point d'après cette quantité de charbon que l'on peut savoir si le combustible est propre à telle ou telle opération. On n'a pu jusqu'ici accorder leur classification avec leur manière de se comporter dans la combustion.

Nous donnerons pour mémoire, trois tableaux de classification selon les systèmes actuels les plus connus; ceux qui ont été suivis par Karsten, Werner et Voigt. Ces systèmes sont établis, soit d'après des principes de géognosie, soit d'après un enchaînement de transitions qui lient ces combustibles d'un côté par la houille brune aux végétaux et de l'autre par l'anthracite au règne minéral.

SYSTÈME De Karsten.	SYSTÈME De Werner.	SYSTÈME De Voigt.
(I) *Houille brune.*	(I) *Houille brune.*	(I) *Houille brune.*
1. Terreuse.	1. Bois bitumineux.	1. Houille piciforme.
2. Fibreuse.	2. Houille brune terreuse.	2. *Id.* scapiforme.
3. Commune.	3. Terre alumineuse.	3. *Id.* de Kilkenni.
4. Grenue.	4. Houille brune commune.	4. *Id.* éclatante.
5. Trapézoïdale.	5. Houille limoneuse.	5. *Id.* limoneuse.
		6. Bois bitumineux.
		7. Houille brune commune.
		8. Bois bitumineux terreux.
(II) *Houille noire.*	(II) *Houille noire.*	(II) *Houille noire.*
1. Piciforme.	1. Piciforme.	1. Houille schisteuse.
2. Scapiforme.	2. Scapiforme.	2. Schiste houiller.
3. De Kilkenni.	3. De Kilkenni.	3. Houille lamelleuse.
4. Schisteuse.	4. Schisteuse.	4. Houille de suie.
5. Lamelleuse.	5. Lamelleuse.	5. Houille argileuse.
6. Grossière.	6. Grossière.	
7. Houille de suie. (*Russkohle*).		
(III) *Anthracite.* Blende charbonneuse.	(III) *Houille éclatante.*	
1. Commun.	1. Conchoïde.	
2. Scoriacé.	2. Schisteuse.	
3. Graphitiforme.	(IV) *Charbon minéral.*	
4. Onduleux.		
5. Fibreux.		
6. Ligneux.		

423. C'est la houille brune qui se rapproche le plus du bois, tant par la quantité de charbon qu'on en retire, que par la manière dont elle se comporte dans la distillation. On ne l'emploie, autant que je sache, que pour les feux de flamme et jamais à l'état de charbon. Ce n'est point à dessein, mais plutôt par circonstance que le sidérurgiste n'en fait pas usage. On ne connaît donc pas les propriétés de son charbon; il est probable que la houille brune terreuse, vu la grande quantité de terres qu'elle contient, ne pourrait être employée sous forme de coke; et le charbon de la houille brune commune se rapprocherait des propriétés du charbon de bois le plus dur, sans qu'il pût servir cependant avec autant d'avantage dans les hauts fourneaux, à cause de la composition de ses cendres, qui, au lieu d'être alkalines comme celles du charbon de bois, sont de nature terreuse.

La houille brune passe par celle de Kilkenni, à la houille noire et de la houille de Kilkenni par les houilles piciforme, grossière, schisteuse, lamelleuse à l'anthracite commun, ou houille éclatante schisteuse. Dans ces différentes transitions la quantité de bitume que renferme ce minéral, va toujours en diminuant, tandis que la dose de charbon suit une loi croissante. L'anthracite ne contient plus de bitume, c'est un charbon pur, combiné, à ce qu'il paraît, avec un peu d'aluminium.

Le bitume contenu dans les houilles leur communique la propriété de se gonfler et de s'agglutiner pendant la combustion; c'est d'après cela qu'on les divise aussi en houilles grasses ou collantes, et en houilles maigres ou sèches. La houille de Kilkenni, la houille piciforme et grossière et le *russkohle*, si toutefois

on veut le regarder comme une variété, appartiennent à la première classe ; les houilles schisteuse et lamelleuse forment la deuxième.

424. Les houilles qui donnent très-peu de bitume, par une simple distillation, ou, ce qui revient au même, les houilles les plus maigres, sont aussi les plus denses, les plus compactes et les moins inflammables; leurs charbons jouissent des mêmes propriétés. Ce décroissement de combustibilité se manifeste à mesure que l'éclat gras est remplacé par l'éclat vitreux; il est très-sensible dans le passage de la houille schisteuse à la houille lamelleuse : entre celle-ci et l'anthracite commun (parfait), il existe ensuite une infinité de nuances. C'est pour cette raison qu'il est rare de trouver des morceaux entièrement homogènes: ce sont presque toujours des mélanges de houille piciforme, schisteuse et lamelleuse, dont une partie passe quelquefois à la houille éclatante.

Cette dernière, lorsqu'elle est dans toute sa pureté, ne brûle point à la chaleur la plus forte, dans l'air le plus condensé que nous puissions produire avec nos machines soufflantes : phénomène bien remarquable, et que le charbon pur présente aussi dans le graphite et le diamant. Mélangée en forte dose avec les combustibles minéraux, elle les rend impropres aux opérations métallurgiques; mais le plus souvent, elle n'est qu'en sous variété, inclinant à la houille lamelleuse; et alors elle brûle à une haute température, quoiqu'une grande partie éclate et se divise en petits fragmens, qui forment ce qu'on appelle le fraisil, dont la présence peut devenir très-nuisible au travail des hauts fourneaux.

L'anthracite fibreux de Karsten, ou le charbon mi-

néral de Werner, n'offre, que je sache, aucune variété qu'on puisse regarder comme une transition à la houille ; c'est un corps à part, qui, par couches plus ou moins minces, parallèles à l'inclinaison du banc, traverse la houille, la délite et la détériore. On doit craindre cette substance, parce qu'au feu, elle se comporte comme l'anthracite, et qu'elle se réduit en poussière qui intercepte le courant d'air. C'est par le grand nombre des variétés qui rapprochent la houille et l'anthracite, qu'on peut expliquer la divergence d'opinion sur la combustibilité des houilles anthraciformes.

425. Le bitume n'exerce d'autre influence sur la qualité de la houille, que de la rendre plus combustible; il produit sur le charbon le même effet, parce qu'en se dégageant, il en augmente la porosité. Si donc il ne fallait avoir égard à d'autres considérations, il serait facile de classer les houilles et de les employer convenablement, ainsi que leurs charbons, aux différens travaux métallurgiques : on prendrait pour les feux de flamme les houilles grasses et légères : pour les feux de charbons, on se réglerait sur la force de la machine soufflante; on préférerait les houilles maigres aux houilles collantes, si l'on disposait d'un vent fort; parce qu'à volume égal, leurs charbons produisent plus d'effet. Il ne faudrait rejeter que la houille pure entièrement dépourvue de bitume, à moins qu'elle se trouvât mélangée seulement en petite dose dans la masse.

Mais ce n'est pas tant sur la plus ou moins grande quantité de bitume, que sur les terres contenues dans les houilles que le métallurgiste doit porter son attention. Ces terres influent si fortement sur l'inflammabilité du combustible et sur la chaleur qu'il peut dé-

velopper, qu'en trop forte dose, elles le détériorent complétement.

La houille, qui dans son gîte, est en contact avec les matières stériles, qui se trouve trop près du toit ou du lit, ne doit pas être convertie en coke, à moins qu'on n'en fasse un triage soigné. On préfère en général les couches intermédiaires, dans les mines qui ont une certaine puissance. C'est pour cette raison qu'un banc mince donne rarement de la houille qui, à l'état de charbon, puisse servir au traitement des minérais. Toutefois lorsque par elle-même, elle est de bonne qualité, et qu'on peut en séparer les matières pierreuses, il n'y a aucun inconvénient à en faire usage; ce n'est que dans le cas où elle passe au schiste bitumineux, qu'on doit prendre beaucoup de précaution dans le triage, parce que les charbons de ces houilles, non-seulement sont difficiles à brûler, mais nuisibles aussi à la réduction et à la qualité du fer.

Plusieurs chimistes, particulièrement MM. Kirwan, Richter, Proust, Lampadius, Branthome et Hecht, se sont occupés de l'analyse des houilles. Les quantités de charbons qu'ils en ont retirées variaient entre 20 et 80 pour cent, et ces charbons leur donnaient entre 1,5 et 20 pour cent de cendres composées ordinairement de silice, d'alumine et d'un peu d'oxide de fer; quelquefois ils y trouvaient encore de la chaux, de la magnésie et de l'oxide de manganèse *. Les

* Les expériences les plus récentes sont dues à M. Thomson. Il en résulte que les houilles, abstraction faite des matières terreuses, ne diffèrent essentiellement entre elles que par leurs proportions d'hydrogène. Ce qui est d'ailleurs parfaitement d'accord avec la manière de voir de M. Karsten. *Annals, of Philosophy*, n°. 80. Annales des Mines, 1821, t. 6, p. 241. Le T.

produits de la distillation par la voie sèche, étaient des gaz inflammables, des substances huileuses, épaisses et liquides, de l'ammoniaque et du soufre.

Mais remarquons que ces produits, formés dans l'opération, ne doivent pas être considérés comme parties intégrantes de la houille, et que même les terres contenues dans les cendres s'y trouvaient peut-être à l'état métallique. Il est vrai de dire que M. Proust, par ses expériences intéressantes, a prouvé que les houilles peuvent être carbonisées par le simple effet de l'acide nitrique étendu d'eau ou de l'acide sulfurique concentré; que le charbon obtenu de cette manière ressemble parfaitement, sous le rapport de sa qualité, à celui que donne la distillation par la voie sèche; et que les quantités seulement ne sont pas égales. Ce chimiste en a conclu que le charbon se trouve tout formé dans la houille, sans être parfaitement combiné avec les autres substances.

Il nous semble que dans ce raisonnement, on ne tient pas assez compte du changement que les acides éprouvent en agissant sur la houille. Le bois est aussi carbonisé par ces acides; mais les produits et tous les phénomènes qui résultent de cette opération par la voie humide, ne ressemblent point à ceux qui se présentent dans la distillation. Du reste, la couleur noire et la fragilité de la houille, une plus grande conformité dans les produits et dans les phénomènes des deux procédés de carbonisation, paraissent prouver que le charbon qu'on peut en retirer est moins intimement lié avec les autres élemens, qu'il ne l'est dans le bois; mais on ne peut supposer qu'il s'y trouve simplement à l'état de mélange, ne serait-ce que parce qu'il est impossible de l'extraire, sans faire des décompositions et de nouvelles combinaisons.

426. Quelque intéressantes que soient ces expériences, sous le rapport des lumières qui peuvent en jaillir sur la nature des houilles et la composition de leurs cendres, elles ne peuvent servir à déterminer l'emploi qu'on doit faire de ce combustible, dans les travaux sidérotechniques; puisqu'il n'existe probablement aucun banc de houille, qui, dans toute son étendue et à tous les points de sa puissance, offre les mêmes propriétés. L'analyse qu'on ne fait que sur de petits échantillons, induirait donc en erreur, si l'on voulait en tirer des conséquences générales. Cependant on peut affirmer que peu de cendres et beaucoup de bitume contenus dans la houille annoncent un coke léger, d'une bonne qualité et qui brûle facilement; moins de bitume et peu de cendres, un coke bon, bien que difficilement inflammable; peu de bitume et beaucoup de cendres, un coke médiocre qui brûle difficilement; enfin beaucoup de bitume et beaucoup de cendres, se trouvent dans les houilles impures, qui néanmoins brûlent avec une grande facilité.

Les analyses peuvent donc fournir quelques données sur la qualité de la houille; mais en général c'est d'après la couleur, l'éclat et le gissement de chaque couche, qu'il faut préjuger les services qu'on peut en attendre.

Lorsque la houille a peu de fissures, que sa couleur est parfaitement noire et son éclat très-gras, elle brûle avec beaucoup de rapidité. Si la couleur incline au gris et si l'éclat diminue en même temps, elle donne plus de cendres, brûle imparfaitement et avec lenteur; elle est toujours mauvaise lorsqu'elle se trouve traversée par de petites couches de charbon minéral. Il s'ensuit donc que la houille en elle-même, peut quel-

quefois être très-bonne, que les résultats de l'analyse peuvent prononcer en sa faveur, et que l'effet produit dans les usines, leur soit pourtant directement opposé.

427. Nous ferons observer en outre, qu'il n'existe point de houille qui ne soit imprégnée de pyrites; si elle en contenait une forte dose, on ne devrait pas la soumettre à la carbonisation, parce qu'on ne dégagerait que la partie de soufre dont l'absence ferait descendre les pyrites à l'état de protosulfure. Le soufre est moins nuisible dans les houilles employées aux fours à réverbère. Il est rare cependant que la présence des pyrites soit un sujet de rebut pour la houille qu'on veut carboniser; on rejette les morceaux qui en contiennent une trop grande quantité, et l'on remédie à l'influence du soufre sur le fer, en élevant la température des hauts fourneaux. Les pyrites qui ont subi l'altération à l'air, portent plus de préjudice parce que cette opération spontanée fendille la houille, la divise en petits fragmens, et que le sulfate de fer qui en résulte est bien plus difficile à décomposer que le sulfure.

C'est à tort que la carbonisation de la houille a été appelée *dessoufrage :* car le dégagement du soufre n'en est qu'une partie accessoire.

428. Il existe beaucoup de houilles qu'on ne doit pas convertir en coke, et qu'on peut employer dans les fours à réverbère. Cependant celle qui, dans ces foyers, produirait le plus d'effet, serait aussi celle que l'on carboniserait avec le plus d'avantage. Fendillée, réduite en petits fragmens par le séjour à l'air, traversée par des couches de charbon minéral ou d'argile schisteuse, elle donnerait de très-mauvais produits par la carbonisation.

La houille maigre, dont le faible éclat joint à la couleur noire tirant sur le gris, annoncent la présence des terres, fournit du coke dur et pesant, qui ne brûle qu'à la plus forte chaleur, et qu'on ne peut employer à la fusion des minérais, si la quantité de terre qu'il renferme est considérable; ce qui n'est pas rare dans les bancs qui n'ont qu'une faible puissance, ou dans les couches extrêmes, ou dans le voisinage des failles, sur-tout si la houille est schisteuse.

La houille lamelleuse incline souvent à l'anthracite; son coke est encore d'une bonne qualité, lorsque les couches de houille et d'anthracite n'alternent pas trop fréquemment. Dans le cas contraire, elle éclate au feu et se divise en petits fragmens. Il ne faut qu'un peu d'habitude pour connaître à l'inspection de la houille, la nature du coke qu'elle peut produire; mais il est plus difficile de transmettre ces sortes de règles par écrit. La houille de suie (Russkohle) est toujours très-riche en bitume; carbonisée dans les fourneaux, elle donne du coke poreux, léger, facilement inflammable, mais contenant souvent trop de terres pour servir au traitement des minérais.

429. On carbonise les houilles ou dans des fourneaux ou en meules; en suivant le premier procédé, on a pour but de recueillir et d'utiliser les vapeurs qui se dégagent.

La carbonisation de la houille n'exige pas autant de précautions que celle du bois, parce que l'union entre le charbon et les autres substances est moins intime; que le coke conserve le même volume; qu'il en augmente même quand on opère sur de la houille bitumineuse; qu'on n'a pas à craindre, comme pour le bois, les graves inconvéniens qui résultent du retrait,

et que le coke étant moins inflammable que le charbon de bois, ne subit pas un déchet aussi considérable par le contact de l'air. Il existe même de la houille dure et compacte, qu'on ne peut carboniser qu'à l'aide d'un courant d'air assez considérable.

Les meules de houille étaient anciennement circulaires comme celles du bois; on leur donnait de 3 à 5 mètres de diamètre à la base, de 15 à 21 centimètres d'élévation à la circonférence, et de 46 à 63 au centre; on les couvrait d'abord de paille et de feuilles, et ensuite de terre; on les allumait par le haut et l'on gouvernait le feu en pratiquant des ouvreaux dans la couverture. Bientôt on s'aperçut que ce procédé était susceptible d'une grande simplification; qu'il suffisait de placer sur la meule une couche de menue houille, et de couvrir les endroits qui ne donnaient plus de flamme, avec de la poussière de coke (du fraisil) pour étouffer le feu. Alors, au lieu d'employer la forme circulaire, on disposa la houille en tas alongé, formant un demi-cylindre coupé par son axe, afin d'en carboniser à la fois une plus grande quantité.

Il est hors de doute que cette méthode occasionne un déchet plus considérable: on devrait donc revenir à l'ancien usage pour la houille bitumineuse qui donne du coke léger et très-combustible, si toutefois on ne peut, vu la grande consommation, la carboniser dans des fourneaux, ce qui serait la manière la plus avantageuse.

430. Le mode de carbonisation en tas alongés est extrêmement simple. On choisit un emplacement non sablonneux et assez élevé pour que l'eau ne puisse y séjourner. Si la terre est trop légère, il faut la cou-

vrir d'une couche de 16 cent. d'épaisseur, d'argile et de ménuaille de coke, la damer et l'aplanir. Par suite du travail, le terrain s'encombrant nécessairement, on est au contraire obligé de le déblayer.

Après avoir enlevé, avec des rateaux de fer, le fraisil de la cuite précédente, composé de coke en poussière, de petits fragmens d'anthracite, et après avoir égalisé la faulde, le charbonnier enfonce dans le sol, le long d'un cordeau tendu dans le sens de l'axe, des piquets de 63 centim. de hauteur, espacés de 63 centim. ou à une plus grande distance, si la houille est bitumineuse. Ces piquets désignent les points où le tas doit être allumée.

On dispose ensuite le long du cordeau, les plus gros morceaux de houille, en les inclinant l'un vers l'autre, de manière à former une galerie, ou conduit d'air, qui règne dans toute la longueur de la meule. La largeur de ce canal est réglée par le degré d'inflammabilité du combustible; elle est d'autant plus considérable que la houille est plus maigre et plus compacte. On appuie contre ces premières rangées, en laissant le moins de jour possible, les rangées suivantes dont les morceaux vont toujours en décroissant de hauteur, afin que la masse reçoive une forme arrondie.

La largeur de la meule est ordinairement de $3^{m},10$ à $3^{m},80$; les plus gros morceaux de houille ont tout au plus 30 décimètres cubes de volume; les fragmens de 40 à 50 centimètres cubes, ne peuvent servir que pour le remplissage et la couverture. La longueur de la meule ne dépend que de l'emplacement et de la quantité de coke que l'on veut obtenir d'une cuite : on lui donne de 32 à 38 mètres. L'arrangement des gros morceaux est, dans cette opération, la chose essen-

tielle : on les place de champ, de manière que leur lit de gissement soit perpendiculaire à l'axe et que les joints soient tournés en dehors, afin que la houille soit mieux exposée à l'action de l'air atmosphérique.

La hauteur de la meule est de 40 à 58 centimètres au milieu, et de 11 à 16 centimètres vers les côtés du demi-cylindre. La seconde couche de houille n'est jamais régulière, on y place de champ ou sur leur plat, des fragmens dont la grosseur va toujours en diminuant vers les côtés, et qui servent à la fois à remplir les vides et à produire la forme arrondie. On répand ensuite sur toute la masse, une couche de ménuaille destinée à modérer l'influence de l'air ou à servir de couverture.

La houille collante comporte une plus grande hauteur de meules, mais elle demande aussi que la couverture en houille menue, soit plus épaisse et plus soignée. La houille compacte et difficilement inflammable, doit être carbonisée en meules basses et pourvues d'une faible couverture, qui ne puisse pas trop intercepter le passage de l'air atmosphérique.

431. Après avoir achevé la construction de la meule, le charbonnier enlève les piquets et projette dans les vides qui en résultent de la houille enflammée, qui, au bout de 4 à 6 heures, détermine la combustion de toute la masse. Le soin de cet ouvrier consiste alors à remarquer les points où la houille, cessant de fumer et de brûler avec flamme, se couvre de cendres blanches ; c'est un indice que la carbonisation y est achevée : au fur et à mesure qu'il voit blanchir un endroit, il tâche d'y étouffer le feu, en y jetant du fraisil rangé en tas le long des côtés de la meule.

La cuisson commence, à l'ordinaire, sur les bords et se propage ensuite jusqu'au centre. Il est très-essentiel de suivre ses progrès et de saisir, pour chaque point, le moment précis où il faut éteindre le feu. Si la combustion dure trop long-temps, on brûle et l'on détériore le coke comme le charbon de bois; si elle est arrêtée trop tôt, après que la flamme a cessé, mais avant l'entière dissipation de la fumée, le coke est mal cuit, dur, et il résiste aux plus forts courans d'air, sur-tout lorsque la houille est naturellement compacte.

Le temps que la meule doit rester en combustion dépend de la nature de la houille : très-bitumineuse, elle demande de 36 à 48 heures, depuis le premier moment de la mise en feu; plus maigre, elle est cuite déjà au bout de 12 à 16 heures. Un air sec, froid, légèrement agité, abrége le temps de la carbonisation. Si la fumée qui se dégage est très-abondante, le coke sera léger; on juge favorablement de sa qualité, si la houille, pendant la cuisson, présente une couleur blanche plutôt que rougeâtre.

Couverte de fraisil, la meule doit rester en cet état pendant 3 à 4 jours, afin que le feu s'éteigne complètement. Le coke est tiré ensuite avec un crochet et un rateau en fer; cette opération commence par un des petits côtés de la base.

432. La méthode que nous venons d'exposer est simple, mais défectueuse, parce qu'elle occasionne un déchet considérable. La perte est moins forte avec la houille compacte et pesante. Si d'ailleurs son charbon est un peu trop brûlé, il acquiert plus de porosité et devient plus traitable dans le haut fourneau : cet effet a lieu sur tout lorsque les meules sont peu élevées.

La houille grasse qui, par elle-même, donne déjà du coke léger, subit un déchet plus fort, à cause de l'imperfection du procédé. Il faudrait la carboniser avec plus de soin, dans des meules couvertes de terre, ou dans des fourneaux qui ne donneraient point d'issue à la flamme.

En Angleterre, on suit depuis peu de temps, une méthode très-avantageuse : on dispose les morceaux de houille, en suivant les précautions indiquées au paragraphe 430, autour d'une espèce de cheminée, en forme d'entonnoir, construite avec des briques réfractaires. Cette cheminée ou fourneau a $0^{m},914$ (3 pieds, mesure anglaise) de diamètre à sa base, $0^{m},711$ (28 pouces*) à sa partie supérieure, et $1^{m},066$ (3 p. 6°) de hauteur. Le vide intérieur est un tronc de cône, dont le diamètre de la base a $0^{m},305$ (1 pied), et celui du petit cercle, $0^{m},152$ cent. (6 pouces) de longueur.

On pratique dans cette cheminée, à des hauteurs différentes, trois séries d'ouvertures horizontales : chaque série contient six de ces ouvreaux qui ont de 5 à 8 $cent^{m}$. (2 à 3 pouces) de diamètre. Les premiers, si l'on part du sol, sont plus grands ; on leur donne 10 $cent^{m}$. sur 15. La dernière série ou la troisième est aux deux tiers de la hauteur totale. L'ouverture supérieure de la cuve peut se fermer avec une plaque en fer. Les morceaux de houille sont placés de champ, les joints tournés vers le fourneau et de manière que les enveloppes circulaires aillent toujours en diminuant de hauteur, à mesure qu'elles s'éloi-

* Toutes les parenthèses de ce paragraphe renferment des mesures anglaises.

Le T.

gnent du centre. Il y a $1^{m},523$ à $1^{m},828$ (5 à 6 pieds) de distance du cercle extérieur au pied du fourneau, ce qui donne $3^{m},96$ à $4^{m},57$ (13 à 15 pieds) pour le diamètre total.

Sur la première couche de houille rangée sur l'aire, on en met une deuxième et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on ait gagné la hauteur de l'entonnoir, ayant soin de diminuer l'épaisseur des couches en s'écartant du centre ; afin que le tas reçoive une forme conique, dont la pente soit même assez roide : les morceaux de combustible les plus petits sont placés par-dessus.

Après avoir bouché avec la houille menue les jours laissés entre les fragmens, on donne à toute la meule une couverture en fraisil de coke de 5 à 8 cent. (2 à 3 pouces) d'épaisseur : on l'arrose d'eau pour en augmenter la cohérence, afin qu'elle ne puisse être percée ni par la flamme ni par la fumée.

On jette dans la cheminée quelques morceaux de houille incandescens qui, à l'aide des ouvreaux inférieurs, embrâsent toute la meule. Elle reste 36 à 48 heures en feu ; la fumée cherchant une sortie, passe dans les ouvreaux et s'échappe par l'entonnoir. L'opération se termine lorsqu'on n'aperçoit plus de fumée ni de flamme bleuâtre. Alors le charbonnier ferme avec une plaque en fer, l'ouverture supérieure du fourneau pour étouffer le feu ; mais il ne peut enlever le charbon qu'au bout de trois jours. Il faut souvent arroser et réparer la couverture. Ce mode de carbonisation est très-avantageux pour la houille grasse. Si en volume, elle donnait une moindre quantité de charbon que dans les meules découvertes, on en serait amplement dédommagé, parce que le coke obtenu de

cette manière est toujours plus compacte et produit plus d'effet.

433. On ne peut carboniser la houille menue, en suivant la méthode précédente, soit parce que les petits fragmens ne laisseraient pas assez de passages à l'air qui doit entretenir la combustion, soit parce que le coke lui-même serait trop menu pour le traitement des minérais. Du reste, ce n'est jamais qu'une *espèce* de *menuaille*, celle des *houilles bitumineuses* que l'on peut convertir en coke; parce que les petits fragmens s'agglutinent et forment alors des masses plus ou moins considérables; mais au lieu de les traiter en meules, on doit les carboniser dans des fourneaux cylindriques, ou mieux encore, sur une aire couverte d'une voûte très surbaissée et formant un four semblable à ceux des boulangers. Par le premier procédé, on brûle trop de charbon en pure perte, on consomme pour allumer le feu et pour établir des conduits d'air une trop grande quantité de houille en gros morceaux, et quelquefois on a beaucoup de peine à retirer du fourneau le coke réuni en une seule masse: il faut donc préférer l'autre méthode.

Les fours ont ordinairement une grandeur telle que la menue houille répandue sur l'aire ou la sole, puisse former un volume de 12 pieds cubes, la couche n'ayant que 6 pouces d'épaisseur. La porte par laquelle on charge le four sert à faire sortir le coke, et à donner une issue à la flamme et à la fumée. C'est la quantité de bitume contenue dans la houille, la direction du vent, l'état de l'atmosphère, qui modifient la durée de la combustion; on laisse brûler jusqu'à ce qu'on n'aperçoive plus aucun dégagement de flamme ou de fumée, et jusqu'à ce que la houille se couvre de cen-

dres blanches; alors on tire le coke avec un fourgon en fer, on l'éteint avec de l'eau, on le transporte sous des hangars et l'on commence une nouvelle opération. Il n'est pas nécessaire d'allumer ensuite la houille; le fourneau qui reste à peu près six heures en feu, acquiert un degré de chaleur assez élevé pour qu'elle s'enflamme spontanément.

On voit que, dans ce travail, il se perd une grande quantité de coke par la combustion. On cherche à diminuer le déchet en surbaissant la voûte le plus qu'il est possible, et en diminuant l'influence de l'air atmosphérique; si l'on négligeait ces précautions, on ferait tout aussi bien d'opérer en plein air.

Comme la flamme, en se dégageant, enlève une portion de charbon à l'état de nature, on joint à la carbonisation de la houille, la fabrication du noir de fumée. Pour cet effet, les vapeurs fuligineuses sont conduites par un assez large canal dans un vaste réduit, tapissé de toile; la majeure partie du charbon se dépose dans ce récipient sous forme de noir de fumée, qu'on recueille et qu'on fait recuire ensuite dans des vaisseaux clos.

434. Il est reconnu qu'en distillant la houille dans des vaisseaux clos, on en retire plus de charbon, pris au poids, que par les autres modes de carbonisation Mais ce procédé, trop dispendieux pour être d'un usage général, n'est employé que dans le cas où il s'agit de recueillir tous les produits de la distillation. C'est alors sur ces produits que roulent les spéculations, et le coke n'est plus qu'un objet accessoire.

La distillation de la houille s'opère, soit dans des chambres de fonte, formées par des plaques jointes ensemble et munies à leur partie supérieure de tubes

qui conduisent la vapeur au récipient, soit dans des cylindres couchés, dont une des bases sert de porte par laquelle on charge et l'on retire le coke, et dont l'autre extrémité communique par des tuyaux avec les vaisseaux réfrigérans. Il est évident que les produits ne doivent pas être les mêmes, que lorsque la houille en se carbonisant brûle avec flamme.

435. C'est à l'aide de fours non chauffés par une chaleur extérieure, mais dans lesquels la carbonisation se fait par une combustion lente, qu'on peut convertir d'une manière avantageuse les houilles en coke et recueillir en même temps les autres produits de la distillation. Ne prenant point de retrait, ce combustible, s'il est carbonisé dans les fours, ne présente pas les mêmes inconvéniens que le bois. On choisit d'ordinaire des houilles grasses, mais non collantes; elles donnent plus de bitume ou de goudron que les houilles maigres, et elles se prêtent mieux à cette opération, en ce qu'elles n'exigent pas un courant d'air aussi fort: elles ne doivent pas être trop bitumineuses, parce qu'en s'attachant, elles pourraient fermer le passage à l'air, et que d'ailleurs il serait difficile d'enlever du foyer les masses agglutinées.

La forme des fourneaux est assez indifférente en elle-même: cependant pour bien gouverner le feu, on doit toujours les faire ronds. On leur donne de $7^{m},73$ à $9^{m},27$ cubes de capacité, de $1^{m},57$ à $2^{m},20$ de diamètre et de $2^{m},51$ à $2^{m},82$ d'élévation dans *œuvre*. Ils se retrécissent par le haut: leur ouverture supérieure qui n'a que 0,94 cent. de diamètre, peut se fermer avec une plaque en fonte. Le mur d'une assez forte épaisseur, et bâti en briques réfractaires, se trouve consolidé par des bandes et des ancres en fer.

Au milieu de la sole du fourneau est une grille de $0^{m},94$ de diamètre, placée au-dessus d'un cendrier, dont les barreaux sont espacés de 13 millimètres. Dans l'une des faces, on ménage une ouverture de $1^{m},57$ de hauteur sur une largeur de $0^{m},78$; elle sert pour le chargement du fourneau; on la ferme avec des briques, lorsqu'il est en activité. Au dehors est un battant de porte, en fer, pour consolider le mur construit seulement en briques placées de champ, afin qu'on puisse le faire et le défaire avec plus de facilité. Dans le pourtour du fourneau, on pratique à différentes hauteurs quatre systèmes d'évents de 39 millimètres (18 lignes) de diamètre ; ce sont d'ordinaire des tuyaux en fonte : la série inférieure composée de 6 évents est au niveau du sol ; les autres sont éloignées entre elles, et de celle-ci de 47 cent. (18 pouces).

Dans la partie supérieure du fourneau, près de l'ouverture de la cheminée, est adapté un conduit en fonte de 21 à 26 $cent^{m}$. (8 à 10 pouces) de diamètre, qui traverse le mur du fourneau, reçoit les vapeurs et les conduit dans le récipient. Lorsqu'on a deux foyers pour un seul récipient, il faut ouvrir et fermer les tuyaux de communication avec beaucoup de soin, pour ne pas donner lieu à des explosions.

436. En chargeant le fourneau, on place sur la grille du bois sec ou résineux. Arrivé à la hauteur de la porte, on la ferme avec le mur de briques, en y laissant pour allumer le feu, une ouverture correspondant à une galerie que l'on a menagée dans la masse de la houille. La cuve remplie jusqu'à l'embouchure du conduit à vapeur, est fermée avec une plaque dont les joints sont lutés. On allume ou par le cendrier ou par la galerie ; les évents des trois séries supérieures se ferment

et ceux de la base restent ouverts. Au bout de 10 à 11 heures, on aperçoit le feu par les évents de la deuxième série ; alors ceux-ci s'ouvrent et les premiers se ferment. On continue de la même manière pour les autres séries, en observant que la deuxième doit rester ouverte 10 heures, la troisième 16 et la quatrième 3 heures.

Après que tous les soupiraux sont fermés, le fourneau est maintenu 12 heures dans cet état ; ensuite on abat le petit mur qui ferme la porte, on tire le coke incandescent et on l'éteint avec de l'eau.

Il ne faut pas que la houille brûle dans le fourneau avec flamme. Sa couleur doit être rouge-orange ; on bouche toutes les ouvertures aussitôt qu'elle s'éclaircit et qu'elle passe au blanc ; le courant d'air venant du cendrier est alors assez fort pour alimenter la combustion : on y adapte même une porte pour intercepter le tirage quand il fait un grand vent.

Il est presqu'inutile de faire observer que les soupiraux tournés du côté d'où vient le vent, doivent s'ouvrir très-peu ou rester bouchés entièrement. On ne doit jamais ouvrir de trous avant que le combustible vu par les ouvertures qui sont immédiatement au-dessous, ne paraisse rouge orange. Il est sur-tout très-essentiel que les matières qu'on aperçoit par les évents supérieurs, conservent toujours une couleur foncée ; le trajet pour l'air et les gaz étant très-petit, et ces gaz pouvant par conséquent contenir de l'air non-décomposé, il pourrait en résulter une explosion.

437. Dans les fourneaux on obtient une plus grande quantité de coke prise au poids, dans les meules une plus grande quantité, prise au volume ; mais, ne devant avoir égard dans cette estimation qu'au poids, on

trouvera que l'avantage est toujours du côté des fourneaux.

La houille qui ne se gonfle pas, qui donne du coke dur et pesant, se traite dans les meules avec le plus de succès; tandis que la houille bitumineuse devrait toujours être carbonisée dans des fourneaux; on en retirerait plus de coke, et l'on recueillerait les autres produits, qui se dégagent dans la carbonisation.

Ces produits sont de l'eau, du carbonate d'ammoniaque, de l'huile empyreumatique, de l'hydrogène chargé d'ammoniaque et plusieurs autres gaz incoercibles. L'ammoniaque et l'huile forment quelquefois une espèce de savon. De tous ces corps, il n'y a que l'huile dont on puisse tirer partie, parce que l'ammoniaque ne se trouve qu'en trop faible dose. Cette huile est plus ou moins pure, selon la quantité d'eau employée à la condensation des vapeurs. Après en avoir séparé une certaine portion d'eau par le repos de la masse, on obtient le goudron brut, contenant encore de l'huile volatile et beaucoup d'eau; on les chasse par l'ébullition, pour former ce qu'on appelle le goudron cuit; si l'on continue la concentration, on le change en poix de cordonnier et ensuite en poix dure.

L'évaporation se fait quelquefois dans un alambic en fer, avec un récipient du même métal destiné à recueillir les huiles essentielles. La meilleure forme qu'on puisse donner au récipient est celle d'un entonnoir, dont le col tourné en dessous, se trouve muni d'un robinet. En ouvrant ce dernier, on fait couler l'eau, que sa pesanteur spécifique fait descendre dans la partie inférieure du vaisseau; dès qu'il passe un peu d'huile, on referme le robinet et l'on at-

tend que le récipient soit encore une fois rempli aux trois quarts ; l'opération peut continuer sans interruption, si l'alambic, disposé de manière qu'on puisse y verser le goudron sans ôter la *chape*, porte au point le plus bas un conduit destiné à recevoir le goudron épuré ou parvenu à la consistance voulue.

L'huile noircit promptement à l'air. Etant de nature volatile, on pourrait l'employer pour certains vernis. Elle donne beaucoup de vapeurs dans la combustion : il ne serait donc possible de la brûler que dans les lampes qui auraient un tirage considérable; mais on n'y a pas encore réussi jusqu'à présent ; elle exhale l'odeur fétide du goudron brut. Le goudron convenablement cuit n'a plus qu'une faible odeur, et la poix est entièrement inodore.

Ce goudron minéral remplace parfaitement le goudron de bois. Mélangé avec du noir de fumée ou des couleurs terreuses, il reçoit de la consistance ; on en forme, de cette manière, une excellente composition pour peindre le bois ; il y pénètre plus que le goudron végétal, mais on est obligé d'en multiplier les couches.

Les gaz incoercibles peuvent servir à l'éclairage, mais leur flamme serait trop pâle, si l'on voulait aussi retirer tout le goudron dégagé par la houille ; on ne peut donc obtenir les deux produits à la fois. Les Anglais éclairent, de cette façon, leurs manufactures avec le plus grand succès, et ils ont même étendu ce procédé ingénieux à l'éclairage des rues de Londres.

438. La quantité de coke obtenue de 100 parties de houille, varie entre 60 et 70. En prenant les deux corps au volume, on compte sur autant de coke que l'on emploie de combustible cru ; les houilles col-

lantes en donnent ordinairement de 5 à 15 pour cent en sus, et les houilles maigres de 1 à 10 pour cent en moins. Comme dans les fourneaux il y a moins de vides entre les fragmens que dans les meules, la dilatation, et par suite le volume du coke, ne sont pas aussi considérables que dans celle-ci; mais il y a compensation sous le rapport du poids, puisqu'il pèse de 10 à 15 pour cent de plus que le coke des meules.

La houille maigre qui, carbonisée à l'air libre, ne se gonfle pas, subit ordinairement, dans les fourneaux, un déchet de 10 à 15 pour cent mesuré au volume; mais le coke pèse de 12 à 16 pour cent de plus que celui des meules.

La houille collante devrait être carbonisée en meules couvertes en terre (429 et 432). La menue houille collante carbonisée au four, donne toujours parties égales de coke prise au volume, et quelquefois même une augmentation de 10 pour cent, quoique par cette méthode, on en brûle évidemment une assez grande quantité en pure perte.

439. Le coke, dans son état de perfection, ne possède ni l'éclat vitreux ni l'éclat gras; il est mat dans sa cassure et montre tout au plus un faible éclat soyeux: sa couleur ne passe jamais au noir de fer, mais seulement au noir grisâtre *; dans la cassure, elle est quelquefois bigarrée. S'il provient de la houille collante, il offre un aspect coulé; tous les autres cokes ont du reste une porosité particulière que seulement, dans ceux qui sont très-pesans, on ne reconnaît pas au

* Le noir grisâtre est moins foncé que le noir de fer. Voyez, pour la couleur des substances minérales d'après Werner, le système de Chimie par M. Thomson.

Le T.

premier coup d'œil : ces derniers ont une forme cubique ou rhomboïdale. Celui qui doit son origine à des houilles chargées de bitume, est indéterminé dans sa forme ; il ressemble aux choux-fleurs ou à une sorte de végétation.

La grosseur des cokes prouve en faveur de leur pureté. Lorsque les houilles ont des fissures ou qu'elles sont traversées par de légères couches d'argile schisteuse ou de charbon minéral, elles tombent par la carbonisation en petits morceaux, ce qui les détériore complètement. Quoique la majeure partie de l'anthracite et du *charbon minéral* reste sur place dans le fraisil, les cokes en renferment encore une certaine quantité : il faut donc les trier et rejeter ceux qui sont brillans ; il en est de même de l'argile schisteuse qu'on reconnaît à sa blancheur.

440. La différence entre le coke et le charbon de bois n'a pas encore été caractérisée d'une manière positive ; elle ne peut dépendre uniquement de la texture, parce que les cendres du coke ne sont point de nature alkaline, et que ce combustible minéral contient aussi de l'azote dont on ne trouve pas une trace dans le charbon de bois. On peut extraire l'acide hydrocyanique du coke chauffé avec un alkali dans des vaisseaux clos, comme du charbon animal. Mais l'état de la combinaison de l'azote avec le carbone est aussi peu connu, que la manière dont les cendres se trouvent dans le combustible ; d'après plusieurs phénomènes, on est autorisé à croire qu'elles ne sont formées que pendant la combustion ; et s'il en est ainsi, elles peuvent être modifiées par la présence du gaz azote.

441. Quoique la houille ne soit pas avide d'eau,

il paraît que ce liquide entre comme partie essentielle dans sa composition, presque de la même manière que dans celle du bois séché à l'air atmosphérique. Mise à sec dans son gîte long-temps avant d'être exploitée, elle se délite et donne ensuite de mauvais coke; il en existe même qui, pour cette raison, et bien qu'elle ait séjourné long-temps à l'air, ne peut être carbonisée. Non-seulement l'eau ne peut y nuire, mais elle la bonifie même. Avant de la soumettre à la carbonisation, il faut quelquefois l'arroser afin d'en activer la combustion et d'obtenir des morceaux de coke plus volumineux et plus compactes: la raison de ce phénomène est encore inconnue.

Mais le coke comme le charbon de bois, ne supporte pas l'eau; il peut absorber au-delà de 20 pour cent de ce liquide, brûle alors très-difficilement et ne dégage qu'une faible chaleur. On ne devrait le faire sortir des meules qu'au moment où on veut l'employer, à moins de le mettre sous un hangar pour le préserver de la pluie.

442. Faut-il préférer le coke léger au coke pesant, ou celui-ci à l'autre? c'est ce qu'on ne peut décider que d'après la quantité de cendres qu'ils renferment. Si les houilles dont ils proviennent ne diffèrent entre elles que par leur bitume, et qu'elles laissent après la combustion la même dose de cendres, on doit préférer le coke pesant, parce qu'à volume égal, il produit beaucoup plus de chaleur que l'autre; si toutefois les machines soufflantes ont le degré de force qui convient à la compacité du charbon.

La houille souillée par des matières étrangères, traversée par de nombreuses fissures et par des couches d'argile ou d'anthracite, donne de petit coke qui ne

peut servir au traitement des minérais, parce qu'il ne laisse point de passage à l'air et qu'il étouffe le feu. On peut adresser le même reproche au coke très-léger, qui, lorsqu'il n'est pas entièrement pur, s'écrase dans le fourneau : la houille impure éclate pendant la carbonisation et présente un déchet considérable.

C'est en général d'après la masse des cendres et la grosseur des fragmens, qu'il faut juger de la qualité du coke. En petits morceaux, même quand il est d'une pureté parfaite, il ne peut être employé dans les hauts fourneaux, sur-tout lorsqu'il est poreux et léger. Si les morceaux ont plus de 36 à 54 cent. cubes (2 à 3 pouces du Rhin) de volume, sa qualité dépend sur-tout des cendres qu'il contient. Le coke léger, dont les fragmens ont de 54 à 72 cent. cubes, et qui présente un aspect homogène, peut toujours servir au traitement des minérais, excepté le coke agglutiné qui se trouve souvent chargé de terres. Il en est de même du coke pesant; sa grosseur et l'aspect de sa cassure ne sont pas suffisans pour garantir sa pureté.

443. Les cokes employés à la réduction des minérais doivent avoir au moins de 36 à 54 cent. cubes de volume; en fragmens plus petits, ils ne peuvent servir que mélangés avec d'autres qui ont de 36 à 357 cent. cubes. Ces principes généraux sont modifiés du reste par la hauteur des fourneaux et la nature des minérais. Les cokes peuvent être d'autant plus petits que les fourneaux sont moins élevés et que les minérais laissent plus de passage à l'air.

Par l'incinération de la houille en plein air ou sur une grille, on peut juger déjà avec assez de certitude de l'influence des cendres sur le traitement des mi-

nérais : si, en brûlant avec rapidité, elle laisse des cendres blanches et légères, et qu'en même temps elle ne soit pas trop fendillée, son coke sera d'un excellent usage. On le trouvera mauvais, si la houille brûle lentement et qu'elle se couvre de cendres lourdes et jaunâtres, qui la préservent du contact de l'air et qui arrêtent la combustion, à moins que le courant d'air ne soit très-rapide. La mauvaise qualité de cette houille va en augmentant quand elle est traversée par de nombreuses fissures, ou par des couches de houille éclatante et de charbon minéral.

La quantité de coke obtenue par la carbonisation de la houille non mélangée de schiste bitumineux, varie entre 60 à 66 pour cent en poids, et la quantité de cendres qu'elle renferme entre 0,9 et 5 pour cent; ce qui fait pour les cendres contenues dans le coke 1,4 à 8,5 pour cent. Si la masse de la houille alterne fréquemment avec des couches d'argile ou d'anthracite, les cendres peuvent augmenter indéfiniment; et quoiqu'on ne puisse les regarder comme faisant partie de la houille même, il faut cependant y avoir égard dans les travaux métallurgiques.

Le coke qui renferme de 0,045 à 0,055 de cendres peut servir encore au traitement des minérais; mais au-delà de cette limite, sa combustibilité diminuant toujours, ainsi que la chaleur produite, il devient impossible d'élever suffisamment la température du fourneau, quelle que soit la force des machines soufflantes.

444. La différence dans les effets que produisent le bois tendre et le bois dur, se remarque aussi dans la houille tendre et la houille dure ; et cette différence se retrouve dans les cokes comme dans les charbons de bois A volumes égaux et pour des quantités de

cendres constantes, la houille compacte et le coke qui en provient, sont préférables à la houille légère et à son coke; mais à poids égaux, leurs effets sont-ils égaux? c'est ce qu'il faut examiner encore. Il paraît que la houille légère et bitumineuse l'emporte sur une égale partie pondérée de houille maigre et pesante. Traversée par de nombreuses couches de schistes bitumineux ou contenant beaucoup de *charbon minéral* qui produit le fraisil, la houille donne en général peu de chaleur, quelle que soit du reste sa pesanteur spécifique. Le rapport entre les effets produits à poids égaux, semble aussi plus favorable pour le coke léger, quoique la différence soit moins sensible que dans les houilles crues. La cause de ce fait dépend probablement, pour les houilles non carbonisées comme pour les bois, de la durée de la combustion, en ce que la houille légère brûle avec une plus grande rapidité.

Il serait difficile d'expliquer pourquoi les charbons de houille ou de bois, pris à poids égaux, ne donnent pas le même degré de chaleur, si ce n'était un fait prouvé par l'expérience, que la densité de l'air doit être proportionnée à la nature du charbon, pour que, dans des temps égaux, il puisse en brûler des quantités égales. Il s'ensuivrait donc que si les poids absolus étaient les mêmes, les charbons devraient toujours produire le même effet, si la combustion avait lieu dans un air dont la pression fût en rapport avec leur compacité; ou bien si, dans un même temps, on en brûlait des quantités égales.

On a fait à Gleiwitz, dans la Haute-Silésie, des essais comparatifs sur l'effet de plusieurs cokes obtenus avec des houilles en morceaux ou en poussière. Ces cokes

ont été employés à la fusion du fer cru, dans des fourneaux à manche.

Une mesure de 86 déc.,56 cubes de cokes agglutinés, pesait 48 kil.,3803.

Une mesure de coke obtenu en meules, pesait 54 kil,8310.

Une mesure de coke obtenu dans des fourneaux distillatoires, donnait un poids de 59 kil.,1316.

Mille kilog. de fonte ont demandé pour entrer en liquéfaction :

	met. cub.
Cokes agglutinés	1,0697
Coke obtenu en meules	1,0007
Coke obtenu dans des fourneaux distillatoires	0,8914

Ou, en évaluant ces quantités au poids :

	kil.
Cokes agglutinés	597,8
Coke obtenu en meules	635,8
Coke obtenu dans les fourneaux distillatoires	608,9

Il en résulte, qu'en mesurant ce combustible au volume, c'est le coke le plus pesant qui produit le plus d'effet, tandis qu'en le prenant au poids, c'est le coke le plus léger qui paraît développer le plus de chaleur *.

* La dernière partie de cette conclusion n'est pas tout-à-fait exacte, puisque le coke des meules est plus léger que celui des fourneaux, et qu'on a pourtant brûlé du premier une plus grande quantité prise au poids, qu'il n'en a fallu employer du deuxième. Mais il résulte évidemment de ces expériences, que le coke retiré de la houille par la distillation, a sur l'autre une grande supériorité. Le T.

445. Plusieurs auteurs ont voulu comparer la houille et le bois sous le rapport des quantités de chaleur dégagées ; mais leurs calculs, en tant qu'ils sont établis sur les poids de ces deux combustibles, sont très-incertains, parce que la pesanteur du bois n'est pas encore exactement déterminée. D'ailleurs, les bois diffèrent dans leurs effets ; ces sortes de comparaisons ne peuvent donc avoir lieu qu'avec des essences données, sous un état hygrométrique déterminé et pour des houilles connues sous le rapport de leurs propriétés. Ceux qui pensent qu'un kilogramme de houille est équivalent à deux de bois de pin, peuvent être aussi bien fondés dans leur opinion, que ceux qui, d'après d'autres expériences, croient que ce kilogramme peut produire autant d'effet que 4 kilogr. de pin silvestre.

Il est tout aussi difficile de vouloir déterminer ce rapport d'après le volume, parce que les espaces vides qui restent dans les cordes, l'âge et la qualité du bois et celle de la houille, modifient les résultats de diverses manières. On ne peut donc établir ces sortes de comparaisons que pour chaque cas particulier. On pense communément que les houilles produisent, par la combustion, le même effet que cinq ou six fois leur volume de bois de pin ; mais ces données ne sont point susceptibles d'une application générale. D'après des essais comparatifs faits à Iedlitz, dans la Haute-Silésie, on a trouvé que, dans un fourneau à chauffer la tôle, 100 mètres cubes de bois produisaient autant d'effet que 16 mètres cubes de houille ; ou ce qui revient au même, que 10 mètres cubes de houille pouvaient être substitués à 63,5 mètres de bois.

446. Ce que nous avons dit de la houille crue,

comparée au bois, s'applique en partie au coke et au charbon ordinaire. On peut adopter en thèse générale, sauf les exceptions, que, pour le traitement des minérais de fer, dans les fourneaux à cuve, l'effet du coke, pris au volume, est à celui du charbon de bois comme 2 : 1; ou qu'avec une partie de coke, on obtient la même quantité de fonte qu'avec 2 parties de charbon végétal.

Prises au poids, il faut 3 parties de coke pour en remplacer 2 de charbon; il est probable que la cause de cette différence provient de ce que les cendres du coke sont très-réfractaires et qu'une partie de l'effet du combustible est employée à leur liquéfaction *.

Pour obtenir dans les usines de la Haute-Silésie 100 kil. de fonte, les minérais ayant été les mêmes, on consomma :

	mèt. cub.	kil.
Charbon de pin	1,00444	157,527
Coke.	0,56359	270,720

De sorte qu'en prenant ces combustibles à la mesure, les quantités de charbon de bois ou de coke qu'il faut employer pour produire un effet donné, seront entre elles, comme 100 : 56; et qu'en les prenant au poids, comme 100 : 171.

Il paraît que dans les fourneaux à manche, le rapport est plus favorable pour le coke : si l'on admet, comme terme moyen, que pour refondre 100 kil. de fer cru, il faille :

---

* L'effet produit doit être le même que si les minérais ou les fondans étaient plus réfractaires, et dans ce cas, il faudrait plus de charbon pour une quantité de fonte donnée.

Le T.

	mèt. cub.	kil.
Charbon de pin	0,21131	33,14
Coke	0,10025	47,8*.

Il s'ensuivrait qu'à la mesure, les quantités de charbon ou de coke qu'il faudrait employer pour fondre une certaine quantité de fer cru, seraient entre elles comme 100 : 47, et qu'en prenant ces combustibles au poids, elles seraient comme 100 : 144.

447. On ne peut établir en principe, que les hauts fourneaux doivent être activés avec le coke, plutôt qu'avec le charbon de bois, ou *vice versâ*. Ce sont les localités, les prix de l'une et de l'autre *de ces substances* qui doivent décider la question. Cependant nous devons ajouter, que pour les fourneaux alimentés avec du coke, les frais d'établissement et d'entretien sont plus considérables, le travail du fondeur est plus difficile et plus compliqué, enfin la qualité des fontes est plus dépendante de la nature du combustible; d'un autre côté, la grande chaleur qui doit régner dans l'ouvrage de ces fourneaux, opère une réduction plus complète des minérais: si, au reste, on emploie de bons matériaux et que les ouvriers fassent leur devoir, on n'a rien à craindre pour la qualité des produits.

---

* Cette évaluation en poids, comparée aux résultats d'expériences cités précédemment (444), paraît très-faible; elle devrait être portée au moins à 59 k., au lieu de 47,8.

Le T.

TROISIÈME SECTION.

DES MACHINES SOUFFLANTES.

448. C'EST par des courans d'air, plus ou moins rapides, qu'on active la combustion et qu'on produit le degré de chaleur nécessaire aux opérations métallurgiques. Ces courans d'air sont obtenus, ou par un simple *tirage* ou par des appareils particuliers appelés *machines soufflantes*, à l'aide desquels l'air est recueilli, comprimé et lancé dans les fourneaux.

On établit le *tirage* ou le courant d'air libre, en dilatant le fluide dans un certain espace, au moyen de la combustion; l'air extérieur se précipite alors dans cet espace avec plus ou moins de vîtesse. C'est sur cette tendance des deux airs, à se mettre en équilibre, que repose le travail du charbonnier et la fusion du fer cru dans les fours à réverbère, etc. etc.

Quoique l'invention des soufflets *de cuir* remonte à la plus haute antiquité, il paraît cependant que l'usage des courans d'air libre, employés à la fusion des métaux, est bien plus ancien qu'on ne le croit ordinairement. Il existe des peuples dont la civilisation est assez avancée pour qu'ils ne puissent ignorer l'effet et le mécanisme des soufflets, et qui cependant fondent encore aujourd'hui leurs minérais dans des fourneaux à cuve, où la combustion est activée par un tirage.

(36). Des contrées où, dans le moyen âge, on travaillait le fer, nous présentent encore les traces de la fusion du minérai dans des fourneaux à vent construits sur des hauteurs dépourvues de sources et de ruisseaux; quoiqu'on n'ignorât pas alors l'usage des soufflets mis en mouvement par un cours d'eau, et que d'ailleurs l'eau abonde dans le voisinage.

449. Dans les foyers où la fusion doit s'opérer avec des charbons qui sont en contact immédiat avec les minérais ou les métaux, on ne peut employer avantageusement le tirage de l'air libre, parce qu'il s'agit presque toujours de diriger une certaine quantité d'air sur un point déterminé. Ces foyers sont donc pourvus de plusieurs ouvertures appelées tuyères, par lesquelles on leur fournit un air comprimé.

450. Le tuyau qui conduit l'air dans le foyer, reçoit le nom de *buse;* son ouverture par laquelle le vent sort pour entrer dans le fourneau, s'appelle *œil* ou *bouche.* On donne à la buse la forme d'un cône, dont la grande base communique immédiatement ou par l'intermédiaire d'un porte-vent, avec la machine soufflante. On emploie le plus souvent deux soufflets qui, d'aprés des mouvemens combinés, agissent sur un seul point; les buses sont placées alors dans la même tuyère. Mais aujourd'hui les soufflets sont construits de façon qu'ils versent l'air dans un réservoir commun, auquel on adapte un porte-vent qui communique avec une buse: c'est pour cette raison que les machines soufflantes sont désignées souvent par le nombre de leurs buses. Un seul de ces conduits suppose toujours un régulateur.

451. Il sort d'autant moins d'air par la buse, dans un temps donné, pour une pression constante, que l'œil

est plus petit. Si, pour une même buse, la pression augmente, il en sortira davantage avec une plus forte vîtesse; mais si, dans ce cas, le vent doit recevoir plus de vélocité sans qu'on veuille communiquer au fourneau une plus grande quantité d'air, la bouche des buses doit être diminuée. Il faut l'élargir lorsque, avec une augmentation de force, la vîtesse du vent doit rester la même, etc. Il est donc essentiel de lui donner une ouverture convenable et proportionnée à l'effet de la machine soufflante.

452. Le mécanisme de tous les soufflets consiste à lancer au dehors l'air recueilli dans un espace quelconque, qui se remplit, aussitôt après, d'air atmosphérique. La plus ancienne machine de cette espèce n'était formée que d'une peau d'animal; on a perfectionné ensuite la manière de la comprimer et de la distendre, en donnant plus de souplesse aux peaux par le tannage, et en y ajoutant des surfaces inflexibles pour faciliter le mouvement.

453. La cherté du cuir, qui s'use très-vîte dans les plis, fit répandre en peu de temps une découverte qui eut lieu en Allemagne, à la fin du seizième ou au commencement du dix-septième siècle, et que, d'après Schlutter, on doit à un évêque de Bamberg; elle consiste à remplacer le cuir par une caisse en bois qui se meut autour d'un axe porté par une surface immobile, appelée le *giste*. Telle est en général l'idée qu'on doit se former du *soufflet de bois*; qu'on appelle quelquefois soufflet de bois pyramidal, pour mieux le caractériser sous le rapport de sa forme.

454. Plus tard, on améliora sa construction. La caisse mobile qu'on appelle le *volant*, devant joindre parfaitement contre les côtés du giste, éprouvait un

frottement considérable qui neutralisait une grande partie de la force motrice. Comme la caisse mobile est attachée au giste, le plan supérieur du premier ne peut s'appliquer parfaitement contre le plan immobile : il reste donc après que les deux surfaces sont le plus rapprochées possible, un espace rempli d'air comprimé, qui, pendant le mouvement rétrograde, se dilate sans jamais pouvoir sortir, et qui diminue d'autant plus l'effet de la machine que la pression de l'air est plus considérable *.

455. Pour remédier au premier de ces inconvéniens, on a placé la caisse mobile dans une cuve remplie d'eau, de manière que l'air aspiré quand le volant s'élève, s'échappe lors du mouvement rétrograde, par un conduit qui dépasse la surface de l'eau.

Il paraît que ces soufflets sont venus d'Espagne et qu'ensuite ils ont été essayés en France. Grignon, dans ses mémoires de physique sur l'art de fabriquer le fer, apprend que des soufflets semblables établis à Chatelaudrin, furent abandonnés pour diverses causes d'imperfection : remis en vogue par M. Baader, qui les améliora, ils reçurent plus tard le nom de cet auteur.

456. On a diminué l'espace nuisible qui retient une certaine portion d'air comprimé, en détachant les deux surfaces l'une de l'autre ; et pour faciliter le mouve-

---

* Il sera souvent question par la suite de cet espace où d'après l'expression des ouvriers, *l'air fait matelas;* comme il est très-préjudiciable à l'effet des machines soufflantes, parce que l'air comprimé qu'il renferme, se dilate par le mouvement rétrograde du plan mobile, et remplit une grande partie du soufflet, il sera désigné sous le nom *d'espace nuisible.*

Le T.

ment, on a rendu la première fixe, et le plateau mobile : par cette amélioration il a été possible de rapprocher davantage les deux surfaces extrêmes, pendant le jeu de la machine. Les caisses sont rondes ou carrées, et d'après leur forme, les soufflets portent le nom de soufflets à *piston*, *carrés* ou *cylindriques*.

On peut les confectionner en bois, en fonte ou en pierre. En bois, ils sont doublés quelquefois avec des plaques de plomb ou de fer cru.

457. On chasse donc au dehors l'air recueilli dans les soufflets, soit en écrasant les parois flexibles, soit en imprimant à une caisse un mouvement angulaire vers une surface immobile, soit en faisant mouvoir un plateau parallèlement à lui-même dans l'intérieur d'une caisse fixe : dans l'un et dans l'autre des deux derniers cas, les parties latérales sont inflexibles. Les soufflets sont par conséquent de trois espèces différentes :

1°. A parois flexibles : ce sont les soufflets en cuir.

2°. A parois inflexibles et avec une caisse mobile autour d'un axe : ce sont les soufflets de bois proprement dits.

3°. A caisse immobile, dans laquelle se meut un plateau qui ne fait pas système avec elle : ce sont les soufflets à piston.

On doit ranger dans cette dernière espèce les soufflets à eau, avec cette différence cependant, que leur caisse est mobile : on pourrait à la rigueur considérer aussi la surface liquide comme mobile, puisque la hauteur de l'eau change continuellement.

458. Il existe en outre d'autres machines soufflantes, qui diffèrent totalement de celles dont il vient d'être question : l'air qu'on veut recueillir est entraîné par

une colonne d'eau que renferme un tuyau vertical, dans une caisse hermétiquement fermée ; là les deux fluides se séparent : l'eau s'écoule par une ouverture pratiquée au-dessous de son niveau, et l'air passe dans un porte-vent adapté à la partie supérieure du réservoir. Les machines soufflantes de cette nature s'appellent *trompes*.

DES TROMPES.

459. Voici quelle est en général l'idée qu'on peut se faire des trompes : à une caisse fermée hermétiquement A (pl. 1, fig. 1) s'adaptent un ou plusieurs tuyaux verticaux dont les ouvertures supérieures communiquent avec un courant d'eau. Ce liquide entraîne dans sa chute une certaine quantité d'air qui se trouve comprimé dans la caisse : il se forme alors dans les tuyaux un espace vide ou rempli d'air raréfié. Il s'ensuit que la colonne ne pourrait descendre, si l'extrémité inférieure de ces tubes baignait dans l'eau, ou si l'air rassemblé dans la cuve avait acquis une assez forte pression. Ce moment arriverait d'autant plus vîte que l'air extérieur se précipiterait avec plus de force dans les tuyaux pour remplir les espaces vides : nous supposons toujours que l'eau n'aie point d'issue ; dans ce cas ce liquide cesserait de tomber à l'instant où la pression du fluide élastique intérieur ferait équilibre à celle de l'atmosphère, augmentée du poids de la colonne d'eau.

Si l'on ménageait une issue au liquide, l'air comprimé agirait en vertu de son élasticité ; il augmenterait la vîtesse de la sortie de l'eau, et la pression qu'elle éprouverait dépendrait de la grandeur du trou d'é-

coulement, de la hauteur de la colonne d'eau, plus de la hauteur d'une colonne d'air qui serait égale à la différence de niveau des deux ouvertures de la caisse (quantité infinimennt petite qu'on néglige dans ces sortes de considérations). Le ressort du fluide élastique s'accroîtrait avec l'air affluant. Si donc le trou d'écoulement était très-petit, la vîtesse de sortie devrait augmenter à l'infini, mais comme ceci serait impossible, l'eau affluante diminuerait dans les trompes dont les orifices ne pourraient sans une pression de l'air, offrir un passage suffisant à toute l'eau versée dans la caisse, et cette diminution continuerait jusqu'à ce qu'il s'échappât avec le liquide une certaine quantité de vent; ce n'est qu'après cela que l'eau reprendrait plus de vîtesse dans sa chute.

Il en est tout autrement lorsqu'on donne une issue, non-seulement à l'eau, mais aussi à l'air comprimé dans la caisse. Le fluide élastique exerce alors d'autant moins de pression sur l'eau que la buse est plus large: il faut donc, si l'on veut conserver un certain niveau, élargir dans le même rapport le trou d'écoulement. Pour une masse d'air constante entraînée dans la caisse, la pression est proportionnelle à la différence de la colonne d'eau intérieure à la colonne extérieure* ou elle est en rapport inverse avec l'aire de l'orifice d'écoulement: lorsque celui-ci ne varie pas, la vîtesse du vent ne dépend que de l'ouverture de la buse.

La grandeur du trou d'écoulement pratiqué au fond de la caisse, doit donc se calculer et d'après la masse d'eau affluante et d'après la vîtesse qu'on veut donner

---

* L'auteur suppose qu'on ait fait une retenue d'eau, ce qui est le cas ordinaire.

Le T.

au vent. Ce trou ne doit pas être assez grand pour que le niveau reste le même sans une pression de l'air; il faut le diminuer en raison de cette pression qui doit être exercée sur le liquide, puisqu'elle en précipite l'écoulement.

460. La construction des trompes est très-simple ; il ne s'agit que de faire tomber un courant d'eau d'une certaine hauteur par des tuyaux, dans une caisse hermétiquement fermée et pourvue cependant de trois ouvertures, l'une pour l'expiration de l'air comprimé, les deux autres pour l'entrée et la sortie de l'eau.

Outre l'air qu'on fait affluer dans les tuyaux, à l'aide de dispositions particulières, l'eau en contient aussi une grande quantité qui peut en être séparée par des moyens mécaniques : on y parvient en la faisant jaillir contre des blocs ou banquettes de bois ou de pierres *a*, *a*, placées dans la caisse.

Les issues *b*, pour le vent, sont pratiquées à la partie supérieure de la cuve, à laquelle on adapte des porte-vent qui conduisent l'air dans la buse.

461. Les caisses ou cuves peuvent être cylindriques, carrées, coniques ou d'une forme quelconque; on les confectionne en bois, par économie et parce que l'humidité endommagerait les cuves métalliques. Souvent on les fait communiquer ensemble pour réunir l'air de toutes les caisses dans un seul porte-vent.

Le fond de cuve, si on le fermait à la base, devrait être assemblé avec beaucoup de précision et de solidité, afin que l'eau ne pût s'écouler que par une issue déterminée: mais alors, si par une raison quelconque, la pression de l'air venait à varier, il faudrait changer aussi les dimensions du trou d'écoulement, et cette opération, qui nécessiterait des calculs précis ou de longs tâtonnemens, serait assez difficile.

On évite ces inconvéniens et l'on donne plus de solidité à la caisse, à l'aide d'un moyen très-facile; il suffit de supprimer le fond, et de placer la cuve sur des chantiers, dans un réservoir d'eau, de manière à maintenir la communication du dehors en dedans. A mesure que l'eau tombe dans la caisse, elle s'élève dans le bassin et s'écoule par-dessus les bords; tandis que l'air se rassemble dans la cuve entre le fond supérieur et la surface liquide. Pressée par un air plus dense, la colonne d'eau de la cuve s'abaisse au-dessous de la surface d'eau du réservoir, soumise seulement à la pression de l'air atmosphérique. La vîtesse du vent dépend donc de la différence des deux niveaux, comme les hauteurs des colonnes d'eau dépendent de l'ouverture de la buse. Et quelle que soit cette ouverture ou la pression de l'air, la quantité d'eau qui s'écoule par dessus les bords du réservoir est toujours égale à l'eau affluante : elle ne doit point entrer en considération, ce n'est que la différence entre les deux colonnes d'eau qui sert de base au calcul. Il est évident que par ce moyen, le vent doit conserver toujours la même vîtesse pour une même ouverture de buse *.

462. Cette disposition est très-commode et très-avantageuse. De grands réservoirs destinés à contenir de 4 à 6 caisses, doivent être construits en maçonnerie et munis à leurs bords supérieurs de conduits en fer-blanc pour l'écoulement de l'eau. Les blocs sur lesquels tombe la colonne d'eau, doivent dépasser le niveau du réservoir ; on les termine par une surface co-

---

* Si, toutefois, la quantité d'air affluant est constante.

Le T.

nique dont la pente est très-douce et dont le sommet correspond à l'axe des tuyaux; ils reposent, lorsqu'ils sont très-pesans, sur des plates-formes en bois. Les caisses sont construites avec des douves et cerclées en fer, soit parce que ces cuves se confectionnent à peu de frais, soit parce qu'il est facile de les fermer hermétiquement.

Si les caisses n'étaient point placées dans un réservoir, il faudrait donner une grande solidité à leur fond, et faire devant l'orifice d'écoulement une retenue d'eau, dans laquelle le liquide s'éleverait au-dessus du niveau intérieur. Voyez la figure 1re., *m* est la retenue d'eau placée devant l'ouverture *n*, et fermée par une vanne *p*. Il est inutile que cette vanne puisse s'ouvrir; il suffit que sa hauteur soit égale à la plus grande différence, entre les deux colonnes d'eau, à compter du bord supérieur de l'ouverture *n* : l'eau s'écoule ensuite librement par-dessus les bords de cette digue.

463. On divise les trompes en quatre classes, selon les moyens qu'on emploie pour favoriser l'affluence de l'air dans les tuyaux; car du reste, leur mécanisme est toujours le même.

D'après la première méthode, on évase les tuyaux à leur extrémité supérieure en forme conique (fig. 3. 4.) de manière que la base du cône soit assez grande pour recevoir l'eau tombant de 10 à 30 pieds de hauteur; la partie évasée doit être large et profonde, pour qu'il ne jaillisse point d'eau par-dessus les bords. On étrangle quelquefois les tuyaux immédiatement au-dessous de l'entonnoir (fig. 4), afin d'augmenter ensuite la largeur de ces conduits, de faciliter l'écoulement du liquide et de fermer à l'air le passage dans le sens rétrograde. L'entonnoir se confectionne or-

dinairement en tôle; la longueur du tuyau, y compris le cône, est égale à la moitié de la chute totale du courant d'eau. L'air se trouve entraîné par la colonne d'eau qui se meut dans l'air libre dont elle précipite une certaine quantité dans les tuyaux et l'intérieur de la caisse.

464. Dans cette espèce de trompes, l'eau doit tomber d'une hauteur considérable, pour entraîner une suffisante quantité d'air atmosphérique. Lorsqu'on ne peut disposer d'une si forte chute, on emploie le moyen suivant: à l'extrémité supérieure du tuyau, on adapte un entonnoir beaucoup plus large qu'il ne le faudrait pour recevoir l'eau amenée dans un canal avec une grande vîtesse; le remous ou le tournoiement qui en résulte entraîne une grande quantité d'air qui se trouve précipité ensuite dans les tuyaux par le liquide, sans pouvoir en sortir, à cause de l'étranglement A pratiqué en dessous de l'entonnoir.

Ces deux méthodes de construire les trompes, usitées encore dans quelques contrées de l'Italie, sont défectueuses, parce que l'affluence de l'air est sujette à de grandes variations; on les a remplacées avec avantage par celles que nous allons décrire.

465. Dans la troisième espèce de trompe employée particulièrement dans les Alpes, l'entonnoir mis en communication avec le courant d'eau, est maintenu plein jusqu'à une certaine hauteur, de manière que l'ouverture qui donne entrée à l'eau soit toujours couverte; à une petite distance au-dessous, sont des orifices appelées *trompillons*, par lesquels l'air extérieur afflue dans les tuyaux.

L'expérience a prouvé, dit-on, que, toutes choses égales d'ailleurs, l'effet est plus fort lorsque l'entonnoir

pénètre dans l'intérieur des tuyaux, comme on peut le voir dans la fig. 7. Il est probable que la masse liquide contractée d'abord et répandue ensuite dans un espace plus vaste, provoque une plus forte affluence d'air.

On croit avoir observé aussi qu'on augmente l'effet de ces trompes en plaçant à l'extrémité inférieure de l'entonnoir un crible, afin de diviser l'eau en beaucoup de filets minces : l'air mieux mêlé alors à la masse d'eau est sollicité davantage à descendre, et pénètre dans la caisse en plus grande quantité.

Les trompillons ne peuvent servir du reste qu'à une certaine hauteur; passé ce point, leur effet est nul; et si l'on descend encore, l'air sort, au lieu de se précipiter du dehors au dedans, comme on peut s'en convaincre facilement en examinant la direction de la flamme d'une chandelle présentée à ces ouvertures; dans la partie supérieure elle s'en approche, au milieu elle conserve la direction verticale, et vers le bas, elle est repoussée du tuyau.

466. La quatrième méthode de construire les trompes, employée sur-tout dans les Pyrénées, consiste en ce que le cône qui termine le tuyau est mis comme précédemment en communication avec le courant d'eau; mais on place un ou deux tubes coniques ou de forme pyramidale, appelés *trompilles* dans l'entonnoir, en les enfonçant au-dessous du point où celui-ci débouche dans le tuyau. Ces trompilles servent de conduits d'air pour remplacer le fluide entraîné par l'eau.

Enfin on a essayé avec succès de réunir l'une et l'autre manière de faire affluer l'air dans les tuyaux, en se servant à la fois des trompillons et des trompilles.

467. Quelque simple que soit la construction des

trompes, il est difficile d'en évaluer l'effet, parce qu'on n'a aucune donnée positive sur la portion d'air que l'eau peut entraîner avec elle en tombant d'une certaine hauteur. La quantité de vent que la machine fournit dépend de la chute d'eau ou de la longueur des tuyaux, de leur largeur, et probablement aussi de la pression de l'air dans l'intérieur de la cuve. La nature de l'eau exerce aussi une grande influence sur les résultats: en roulant avec impétuosité sur un terrain pierreux, en se précipitant du haut des rochers, elle se charge de plus d'air qu'en s'avançant avec lenteur vers le point de sa chute.

A mesure que les tuyaux seront plus élevés, l'eau recevra plus de vitesse; le courant d'air qu'elle fera naître dans la trompe deviendra plus rapide et l'affluence de l'air extérieur augmentera dans le même rapport, pour remplacer celui qui est entraîné dans la cuve. Il paraît donc que la quantité de vent fournie par la machine soufflante, dépend sur-tout de la masse d'eau et de la hauteur de sa chute. L'effet s'accroît ensuite selon les moyens qu'on emploie pour conduire l'air dans l'intérieur des tuyaux et selon la largeur qu'on donne à ces derniers, eu égard au volume de la colonne d'eau. Trop larges, les tuyaux ne produisent qu'un faible tirage; trop étroits, ils ne peuvent contenir une assez grande quantité d'air. Il faut donc que leurs dimensions en largeur soient calculées sur la masse d'eau qui entre par leurs ouvertures supérieures, ouvertures qui doivent toujours être couvertes par le liquide.

La résistance que le courant d'air descendant éprouve de la part du fluide élastique comprimé dans la caisse est évidente, puisque l'air extérieur ne peut affluer

que par les orifices qui sont pratiqués dans la partie supérieure des tuyaux.

Ainsi, abstraction faite de la hauteur de la chute, la quantité d'air fournie par une trompe ne peut dépendre que de la nature de l'eau, de son volume, des moyens qu'on emploie pour conduire l'eau dans les tuyaux et de la précision avec laquelle les appareils sont confectionnés.

La pression du vent ne dépend que de l'orifice de la buse, parce que les deux colonnes d'eau se maintiennent toujours en équilibre. Si, par exemple, dans un instant quelconque, il arrivait par les tuyaux une moindre quantité d'air, la colonne intérieure pressée par l'autre remonterait davantage dans la cuve *.

468. Tantôt on a fait l'éloge des trompes, tantôt on les a dépréciées; mais on ne doit pas porter un jugement définitif sur leur mérite, ni les comparer pour leur effet à d'autres machines soufflantes, avant que cet effet et la dépense en force motrice, ne puissent être évalués avec exactitude et avant qu'on ne soit au moins d'accord sur leur construction.

Il paraît à la vérité, d'après les observations faites jusqu'à présent, que les trompes demandent plus d'eau que les soufflets mis en mouvement par une roue hydraulique. D'un autre côté, elles se présentent avec avantage pour des travaux qui n'exigent pas une forte machine soufflante, et dans les pays où l'on a des chutes d'eau considérables, parce qu'elles sont très-peu dispendieuses sous le rapport de leur construction et

* Il s'ensuit donc que la différence de hauteur entre les deux colonnes d'eau n'est pas constante, et que la pression est sujette à varier.

Le T.

de leur entretien. Les froids de l'hiver leur sont très-préjudiciables; cependant, il est assez facile d'en garantir les tuyaux, et quant aux caisses, on les met à couvert.

469. Lorsque les porte-vent n'ont pas une longueur considérable, l'air arrive dans le fourneau chargé d'une grande quantité d'eau qu'il contient à l'état de mélange. Pour l'en débarrasser, on le fait passer par une espèce de ballon où le liquide se dépose et d'où il s'écoule ensuite dans la cuve. Mais, quant à l'eau qui est dissoute par l'air, l'expérience a prouvé que, loin d'être nuisible à la fusion des minérais, elle produit plutôt un effet avantageux.

DES SOUFFLETS EN CUIR.

470. L'usage des soufflets en cuir est si ancien, que son origine est perdue dans l'antiquité la plus reculée. Des peaux *brutes* d'animaux cousues ensemble, qu'on ouvrait et qu'on écrasait alternativement, formèrent les premiers soufflets de cette nature. Ils étaient déjà connus du temps d'Homère. Théophraste fait mention de leur emploi; mais on ignore la manière dont ils étaient alors confectionnés. On ne peut douter que les Romains ne s'en soient servis dans leurs travaux métallurgiques, quoique leurs procédés nous restent inconnus.

471. On ignore aussi l'époque où l'on commença d'employer des peaux tannées et assujetties à des plans inflexibles pour faciliter leur mouvement. Les plus anciennes machines de ce genre qui nous soient connues, sont composées de deux disques en bois *a*, *b*, (pl. 2, fig. 10), enveloppées de cuir et présentant

la forme d'un tronc de cône ou d'un cylindre. Des cerceaux en bois interposés entre les bases, dont pourtant ils ne gênaient pas le mouvement, assuraient la régularité des plis. Le plan *a* portait une soupape *o*; l'autre était percé d'un orifice correspondant à une buse confectionnée en tôle. La soupape se composait d'une ouverture ou ame et d'un clapet de cuir ou de bois léger, fixé au disque par une charnière en cuir et garnie en dehors de peau d'agneau. A l'aide d'une anse *m*, on poussait le cercle *a* contre le plan *b*, pour comprimer l'air et le chasser par la buse. La soupape se fermait alors et elle se rouvrait par le mouvement inverse.

Ces soufflets étaient mus à bras d'homme; un ouvrier en manœuvrait deux à la fois. Leur usage était encore généralement répandu au temps d'Agricola; mais on ne les employait que pour le traitement des métaux fusibles.

472. Le soufflet de cuir usité aujourd'hui est généralement connu (pl. 2 fig. 11): il se compose de deux plateaux en bois *a* et *b*, assujettis par un côté, à une pièce de bois *c* appelée *têtière*, et de façon que l'un des deux puisse se mouvoir vers l'autre, ou que tous les deux soient mobiles. Pour l'ordinaire, le plan inférieur *a* est fixé invariablement à la têtière *c*, qui, dans les petits soufflets à main, ne forme avec lui qu'une seule pièce. Les deux plans sont réunis par un cuir attaché avec des clous dont la tête s'appuie sur des lanières; ils sont presque toujours confectionnés en bois de saule. Le plateau inférieur du soufflet porte la soupape à clapet *v*, faite en cuir ou en bois léger, et garnie de laine sur son pourtour, espèce de soupape qui d'ailleurs est commune à tous

les soufflets pyramidaux. La têtière est percée d'un trou qui conduit l'air dans la buse.

Les parois de cuir se développent quand on éloigne les plateaux l'un de l'autre ; ils se plissent si l'on rapproche les deux surfaces. Par le dernier de ces mouvemens, la soupape se ferme, l'air contenu dans le soufflet se comprime et s'échappe par la buse ; dans le premier, l'ame s'ouvre, l'air atmosphérique se précipite dans l'intérieur de la machine pour remplir le vide et rétablir l'équilibre.

C'est à l'aide des poignées *m*, *m*, adaptées aux deux plans des soufflets à main, qu'on les fait agir avec plus de facilité. Dans les gros soufflets, la force motrice est appliquée au plateau supérieur. On peut d'autant mieux rapprocher les deux plans, et l'air recueilli est d'autant plus complètement expulsé, que la têtière est plus mince.

473. Ce n'est que dans les petits soufflets à main, ou dans les gros soufflets dont le mouvement d'oscillation très-rapide, d'ailleurs, n'a qu'une faible amplitude, que le cuir peut s'écraser en plis irréguliers ; mais dans les soufflets qui ont de fortes dimensions et dont le mouvement s'exécute avec lenteur, on doit régulariser les plis ; la roideur du cuir entraverait le jeu de la machine. On interpose, pour cet effet, entre les plateaux des cadres fixés à la têtière par des charnières qui leur permettent le mouvement d'oscillation ; ces cadres ainsi que les deux plans sont ensuite enveloppés de cuir. Cette construction est cependant employée rarement pour les soufflets des usines ; car dans ceux même qui servent aux essais des minérais, le cuir est tendu seulement sur des cerceaux qui ne sont point liés à la têtière.

474. Quoique la forme des soufflets en cuir soit assez indifférente, et que les plateaux puissent recevoir la figure d'un carré, aussi bien que celle d'un trapèze, on préfère presque toujours la dernière, parce qu'elle semble plus commode dans son emploi. Il existe aussi une toute autre espèce de soufflets de cuir présentant l'aspect d'un cylindre, et dont la base se meut contre le plan supérieur à la façon des soufflets à piston. On les trouve exécutés à Vaux, près de Liége, où deux soufflets semblables activent un feu de chaufferie alimenté avec de la houille.

En examinant le jeu de ces machines, on voit d'abord que le vent ne peut être continu ; quand on écarte les plateaux, l'air devant entrer dans le vide intérieur, ne peut en sortir ; il y pénétrerait même par la buse, si la soupape n'était ni assez légère, ni assez grande pour s'ouvrir instantanément et offrir un large passage. On pourrait croire que dans tous les cas il devrait affluer par ce tuyau, puisqu'il y trouve moins de résistance, n'ayant point de clapet à soulever ; cependant, il n'en est pas tout-à-fait ainsi ; placée dans la tuyère, la buse est environnée d'un air chaud et bien moins dense que celui qui agit sur la soupape ; d'un autre côté, il reste dans le soufflet une partie d'air comprimé qui s'oppose aussi dans le premier moment à l'affluence de l'air dilaté.

L'interruption du jet d'air est un grave inconvénient ; elle oblige le métallurgiste à employer deux soufflets dont l'un s'ouvre pendant que l'autre se ferme. La complication de ce système de machines pour les petites forges, et l'espace qu'exige son emplacement ont fait inventer le soufflet double ou *le soufflet de maréchal*, qui sert aussi dans les usines pour

les feux de chaufferie, et qui, lorsqu'il est bien construit, remplit son objet, en produisant une expiration continue.

475. Le soufflet de maréchal est réellement composé de deux soufflets simples A et B (pl. 2 fig. 13). Le compartiment A placé en-dessous aspire l'air atmosphérique par la soupape v, qui s'ouvre quand on abaisse le plan inférieur, et qui se ferme lorsqu'on ramène ce plan vers le diaphragme ab. L'air comprimé passe, par la soupape x, de A en B, remplit l'espace B, où il éprouve une certaine pression au moyen des poids dont on charge le plan supérieur; de sorte qu'il est forcé de s'échapper par la buse. Ainsi le soufflet inférieur ne communique pas avec l'orifice de la têtière. Le plan intermédiaire ab, qui sert de fond à l'un des soufflets et de couvercle à l'autre est immobile. La force motrice s'applique au plateau inférieur.

La pression du fluide dépend donc autant de la charge du soufflet A, que de l'ouverture de la buse et de la quantité d'air affluant par la soupape x; mais il faut que les poids qui le forcent à s'échapper avec plus ou moins de vélocité, soient en rapport avec la vîtesse moyenne qu'on veut donner au vent. Une trop forte charge empêcherait le soufflet B de se dilater; de façon que l'air ne ferait qu'entrer par la soupape x, pour sortir par la têtière. Si elle était trop faible, on perdrait du vent et le jet ne serait pas uniforme.

Si donc on veut obtenir plus de vîtesse, il faut augmenter la charge du plateau supérieur sans changer la bouche de la buse; mais en dépassant certaines limites, on aurait d'abord un courant d'air très-rapide, suivi dans le second instant d'une interruption totale; en

un mot, l'espace supérieur B ne doit servir qu'à régulariser le jet d'air, qu'à empêcher le vent de sortir par la buse avec l'impétuosité qu'il aurait, si du soufflet inférieur il passait immédiatement dans l'orifice de la têtière.

476. Le soufflet double est solidement établi sur trois points fixes, dont l'un soutient la têtière, et les deux autres le diaphragme *a*, *b*. La manière de le mettre en mouvement est très-simple : le plan inférieur est soulevé à l'aide d'une tringle et d'une branloire ; un poids suspendu à ce plan le fait descendre. Souvent aussi on emploie pour cet effet des roues hydrauliques ; quelquefois aussi des manéges ou des roues dans lesquelles ou fait marcher des animaux, etc., etc. ; et l'on transmet le mouvement par des manivelles, des roues dentées ou des cammes, etc.

477. Le rapport entre la capacité des deux compartimens A et B n'est point indifférent pour l'effet qu'on veut obtenir. Le soufflet supérieur doit être au moins aussi grand que l'autre, mais ordinairement il l'est davantage ; à mesure qu'on le diminue, le jet d'air devient plus inégal.

L'effet est le plus fort lorsque le plan inférieur s'écarte du diaphragme, ou lorsque la soupape *x* se ferme ; l'air est alors chassé en dehors par les poids du plan supérieur, mais aussitôt que la soupape *x* s'ouvre, le fluide qui s'y précipite soulève le plan supérieur, et l'effet en est un peu diminué *. Dans le premier instant, le soufflet ne donne point de vent, parce que le compartiment A doit se remplir d'abord, l'ex-

* C'est plutôt alors que l'effet est le plus fort, à moins que le plateau supérieur ne soit chargé d'un poids considérable. Le T.

piration commence ensuite et devient continue, si ce compartiment n'a pas une trop faible capacité.

478. Les soufflets de cuir ont sur les autres l'avantage de se mouvoir avec beaucoup de facilité. Mais à cause de la grande masse d'air qui reste dans leur intérieur, lorsqu'ils sont écrasés, ils produisent peu d'effet, à moins que leurs dimensions ne soient très-grandes, et alors ils deviennent dispendieux. On frotte le cuir avec des corps gras, pour le conserver et lui donner plus de souplesse; sa roideur entrave le mouvement, et augmente, par la grosseur des plis, l'espace qui, lorsque les deux plans sont le plus rapprochés possible, reste rempli d'air comprimé.

On doit avoir soin que les soupapes soient légères, très-mobiles, et que fermées, elles ne donnent aucune issue à l'air. Il faut une main exercée pour fixer le cuir à la tête du soufflet, si pour diminuer l'espace nuisible, on veut donner une faible épaisseur à la têtière.

Il est bien entendu que le cuir doit être compacte, et parfaitement joint aux plateaux.

479. On a proposé en France, un soufflet triple : j'ignore si on l'a mis à exécution. Dans ce soufflet les compartimens A et B (pl. 2, fig. 14), aspirent l'air et le versent dans la partie supérieure C, d'où il s'échappe par la buse dans le foyer. Le soufflet A puise l'air par la soupape *a*, et le verse par la soupape *c*, dans l'espace C, lorsque le diaphragme *ii*, appartenant aussi au soufflet B, vient à s'abaisser. Le soufflet B aspire l'air atmosphérique par la soupape *b*, qui s'ouvre quand on écrase le soufflet inférieur A, et il se vide par la soupape *d* dans le compartiment supérieur C, lorsque le plan *ii* remonte.

La soupape *b* se trouvant placée dans l'espace que l'air comprimé venant de A traverse pour se rendre en C, doit être adaptée à l'extrémité d'un tuyau communiquant avec le soufflet B ; et afin que B ne puisse aspirer l'air venant de A, il faut donner à A une soupape d'expiration en *m*, et à B une soupape d'inspiration en *n*, mais l'auteur n'en parle point. Du reste, en examinant la machine avec attention, on sera convaincu qu'un soufflet de maréchal du même volume, produira plus d'effet, sera mis en mouvement avec plus de facilité, et devra lui être préféré sous tous les rapports. La force motrice est appliquée au diaphragme *ii*, les deux plans *ss* et *tt* sont immobiles. On voit à l'inspection de la figure, que le soufflet A s'ouvre lorsque B se comprime et *vice versâ*. Le compartiment supérieur C est analogue à celui du soufflet de maréchal, sauf sa capacité qui doit être proportionnée à celle de A et de B *.

480. L'invention des soufflets de bois a banni les soufflets de cuir des hauts fourneaux et des feux d'af-

* Il est probable que M. Karsten, qui blâme le soufflet qu'il vient de décrire, aurait jugé plus favorablement celui de M. Rabier, bien qu'il ressemble au premier sous quelques rapports. Nous croyons être utiles à plusieurs de nos lecteurs, en leur donnant ce nouveau soufflet tel que nous l'avons vu exécuté (pl. 3, fig. 3, 4, 5, 6, 7.) Il se compose, comme le premier, d'un soufflet à double effet, et d'un réservoir ou régulateur, c'est-à-dire de trois compartimens disposés l'un sur l'autre. Les deux inférieurs X et Y puisent l'air par quatre soupapes *k*, *k*, *m*, *m*, et le versent par les trois soupapes *b*, *c*, et *c* dans le réservoir Z, d'où il se rend dans la buse. Les deux plateaux B et D sont fixes; le diaphragme C est mobile; le plan supérieur A se trouve chargé d'un poids. Ces différens plateaux sont tous assujettis à la têtière N. Les ouvertures des soupapes *m*, *m*, qui sont pratiquées dans l'épaisseur du bois, donnent entrée à l'air extérieur dans le soufflet Y. La soupape *b* ouvre

finerie ; pour produire le même effet que les premiers, les soufflets en cuir devraient avoir de grandes dimensions, et alors leur construction et leur entretien seraient trop dipendieux. L'effet qu'ils produisent est très-faible, parce qu'on ne peut rapprocher assez leurs plateaux et que dans les plis, il reste une trop grande partie d'air comprimé. Cependant, on fait usage du soufflet de maréchal pour activer des feux de chaufferie : il occupe peu de place, il est facile à mettre en mouvement et il donne assez d'air pour les petites chaudes, qui ne demandent pas un très-haut degré de chaleur.

DES SOUFFLETS DE BOIS.

481. Le soufflet de bois * est composé de deux par-

---

ou ferme un tuyau en cuir *d* qui établit la communication du soufflet X avec le réservoir Z.

Cela posé, on conçoit facilement le mécanisme de cette machine : si le diaphragme C se rapproche du plateau B, les deux soupapes *k*, *k*, s'ouvrent, et le soufflet X se remplit d'air ; pendant ce mouvement, le soufflet Y se vide, les soupapes *c*, *c* s'ouvrent, et les soupapes *m*, *m*, se ferment ainsi que *b*. Si par l'effet d'un contre poids, le diaphragme C descend, les soupapes qui étaient ouvertes se ferment, et celles qui étaient fermées s'ouvrent ; le soufflet X se vide et Y se remplit d'air atmosphérique.

Le soufflet Rabier paraît avoir sur un soufflet de maréchal, assez grand pour fournir dans un temps donné le même volume d'air, l'avantage de donner un vent plus égal et d'occuper bien moins de place. On doit donc le préférer, sur-tout dans les opérations métallurgiques ; sa construction est du reste assez facile et ne paraît guère plus dispendieuse que celle du soufflet double qu'il doit remplacer. Le T.

* C'est ainsi qu'on appelle communément le soufflet en bois et à charnière ; les autres sont des soufflets à piston.

Le T.

ties: d'une caisse pyramidale appelée *volant* et d'une caisse très-plate qu'on nomme le *gîte.* La première est liée à celle-ci par la partie la plus étroite, de manière à pouvoir s'en rapprocher ou s'en écarter en tournant autour d'un axe. Toutes les faces du volant sont planes, hormis celle de derrière, qui reçoit une forme circulaire ou plutôt cylindrique, dont le rayon est égal à la distance de l'axe fixe à l'autre extrémité du gîte; elle s'appelle *culeton.*

482. Le mécanisme des soufflets de bois consiste donc en ce que la caisse mobile, en s'approchant ou en s'écartant du gîte, forme avec ce dernier un espace limité, d'une grandeur variable et rempli, lorsqu'elle est au plus haut point de sa course, d'air atmosphérique qui est exprimé ensuite par un orifice dans le mouvement descendant. A cet orifice correspond la buse, qui est adaptée au gîte, afin qu'on puisse lui donner une position invariable, ce qui ne serait pas aussi facile, si on l'assujettissait à la caisse mobile; le gîte porte aussi une soupape légère garnie de laine. Le clapet qui est pourvu d'un contre-poids, afin que l'air atmosphérique puisse le soulever plus facilement, se meut autour d'une charnière de cuir ou de métal: pour empêcher qu'il ne se renverse, on peut ou le faire toucher contre un ressort ou l'attacher avec une lanière d'une longueur déterminée. Il est de la plus haute importance que les soupapes soient légères, très-grandes et qu'elles ferment hermétiquement *.

* Il est sur-tout très-essentiel que le clapet ne recouvre pas trop fortement, c'est-à-dire, que sa surface soit la plus petite possible, eu égard à l'ouverture qu'il doit fermer: car la pression intérieure agit sur la soupape en raison de la surface du clapet;

483. Les soufflets de bois produiraient le plus grand effet, si le gîte, au lieu d'avoir la forme d'une caisse, était une surface plane dont les côtés joignissent parfaitement aux parois du volant, et qui pût s'appliquer contre le plan supérieur de la caisse mobile pendant le jeu de la machine. Mais on ne peut réduire le gîte à ne former qu'une surface plane, soit parce qu'il porte la têtière qui fait corps avec lui, soit à cause des moyens qu'on emploie pour fermer le passage à l'air.

Quelle que fût la précision avec laquelle on confectionnerait l'une et l'autre caisse, il serait impossible d'empêcher la sortie de l'air, que pourrait occasionner d'ailleurs le plus petit choc qui pousserait le volant hors de sa direction. On applique donc sur le bord du gîte des liteaux en bois, qui, à l'aide de ressorts d'acier *, sont pressés contre les parois de la caisse mobile et ferment le passage au vent (fig. 16 et 18): x sont les liteaux, z les ressorts qui les poussent en dehors, y des crochets en fer ou des mentonnets en bois, qui les empêchent d'être enlevés par le volant; n de doubles crampons enfoncés dans les liteaux, et qui retiendraient ces derniers en s'appuyant contre une fiche plantée dans le gîte, si les ressorts tendaient

---

tandis que la pression extérieure, qui pendant le jeu de la machine, doit vaincre la première, est proportionnelle à l'aire de l'ouverture. C'est particulièrement dans la construction du soufflet double, dit de maréchal, et dans celle du soufflet Rabier, qu'il importe de ne pas négliger cette considération.

Le T.

* Ils sont ordinairement en fer qui, par le martelage à froid, reçoit de l'élasticité.

Le T.

à trop les déplacer *. Ceux-ci portent à l'un de leurs bouts une pointe qui sert à les fixer dans le gîte **. D'autres ressorts *l* attachés aux liteaux, près de leurs jointures (lorsqu'ils sont composés de plusieurs pièces), les forcent de s'écarter et les poussent dans les angles.

Il est très-important que les liteaux soient confectionnés avec beaucoup de précision, et que leurs surfaces extérieures soient très-lisses, afin qu'ils puissent empêcher la sortie de l'air sans trop augmenter le frottement. A cet effet, on enveloppe la partie frottante avec du cuir qui cependant s'use assez promptement. On les entaille à mi-bois, pour qu'ils puissent se recouvrir dans leurs jointures.

484. Ne pouvant donc substituer une surface plane à la caisse inférieure, on doit obvier, autant qu'il est possible, aux inconvéniens de ce système, en remplissant avec du bois les vides inutiles, afin de ne conserver que les creux indispensablement nécessaires à l'air qui doit se rendre dans la buse, ainsi qu'au jeu des ressorts et de la soupape. Il restera, malgré cela, entre le gîte et le plan supérieur du volant, un espace assez considérable, qui se remplira d'air condensé et qui portera un préjudice notable à l'effet de la machine.

485. Le volant et le gîte doivent être construits en madriers très-secs de 2 à 4 pouces d'épaisseur. Les joints sont à tenons et à mortaises, chevillés ou sim-

---

* Ces doubles crampons sont inutiles; il suffit que les faces latérales et le culeton aient une hauteur convenable pour dépasser encore le plan du gîte, lorsque le volant est au plus haut point de sa course. Le T.

** On se sert aussi de doubles ressorts fixés dans le gîte par leur milieu. Le T.

plement à rainure; mais dans ce dernier cas, les madriers doivent être traversés par des boulons à écrous, afin qu'on puisse les serrer davantage en cas de besoin. Cette manière de consolider les joints est plus avantageuse que l'autre, parce qu'elle offre à l'ouvrier de la facilité pour remplacer les madriers qui se déjettent, et pour resserrer ceux qui, en se desséchant, ont pris un retrait considérable.

Le volant est d'ordinaire, en bois tendre: on doit employer le pin de préférence; mais le gîte et surtout les liteaux doivent être confectionnés en bois durs.

486. Il faut que le mouvement de la caisse supérieure soit facile et que l'air n'y trouve point d'issue aux *bajoues :* c'est ainsi qu'on appelle la partie des deux faces latérales où elles sont assujetties à la têtière.

Les faces latérales du volant sont prolongées ordinairement en forme d'ailes; c'est dans cette partie qu'on pratique un encastrement ou plutôt des boîtes en fer, destinées à recevoir un boulon qui, traversant la têtière, constitue l'axe d'oscillation: *a* (fig. 17) est le prolongement dont il s'agit (la bajoue); *b* la boîte et *c* le boulon. Ce dernier se place au-dessus de la têtière, ou du moins il la traverse au-dessus de l'ouverture correspondant à la buse (fig. 15); il est retenu dans les bajoues, d'un côté par une tête ronde et de l'autre par une simple clavette ou par un écrou. Le plus souvent il s'y trouve fixé d'une manière invariable et s'enlève avec la caisse supérieure. Il tourne dans la têtière sur une empoise de fer polie au tour. Pour l'assujettir au gîte, on se sert de deux oreilles ou de deux mailles qui traversent la têtière, et sont retenues sous le gîte par des clefs ou des écrous, qu'on retire lorsqu'on veut démonter le soufflet; l'ensemble de ces pièces s'appelle la *fermeture*.

Il est essentiel, pour la facilité du mouvement de la machine, que le boulon, l'empoise et les oreilles ou mailles, soient confectionnés avec un certain degré d'exactitude.

Pour empêcher que l'air ne s'échappe aux points de jonction, on ajuste au volant une pièce de bois p, (fig. 15), dont la forme est cylindrique, comme celle du culeton, et qui s'enfonce dans un logement pratiqué dans la têtière; cette pièce forme le quatrième côté du volant, elle frotte contre les liteaux du gîte comme les autres parois de la caisse supérieure.

487. Si le boulon est mal confectionné, s'il tourne dans un encastrement en bois ou dans une mauvaise empoise, il éprouve beaucoup de frottement. Pour y remédier, on le rend, depuis quelque temps, immobile, et l'on ajuste dans les côtés du volant des crapaudines en métal, qui se meuvent alors autour de cet axe fixe; on y pratique une fente pour y introduire la graisse.

488. L'entretien des soufflets de bois demande beaucoup de soin. On visite de temps à autre l'intérieur des caisses, on enlève la poussière et toutes les impuretés, on examine les liteaux, on les graisse (la meilleure graisse qu'on puisse employer est le suif); on graisse les ressorts avec de l'huile, on remplace ceux qui sont endommagés, et l'on porte une grande attention sur les soupapes, qui doivent se mouvoir avec la plus grande facilité, sans offrir aucune sortie à l'air.

489. Il serait inutile de parler du jeu des soufflets. Pour ce qui est de l'espace nuisible, nous avons remarqué déjà qu'il ne peut disparaître entièrement *.

---

* Voyez le §. 454 et la note. Le T.

La pression de l'air dépend, soit de l'ouverture de la buse, soit de la vîtesse communiquée au volant, et par conséquent du nombre d'oscillations fourni dans un temps donné. Il est évident qu'avec le soufflet de bois, on ne peut obtenir un jet d'air continu. Il faut donc employer, dans les opérations métallurgiques, deux soufflets, dont le volant de l'un remonte lorsque l'autre s'abaisse. Au reste, le mouvement est ordonné de manière que l'un commence à refouler l'air avant que l'autre soit entièrement vide; c'est pour cette raison que le volant diminue de vîtesse vers la fin de sa course; car au premier instant de la compression de l'air, on n'obtient point de vent: le jet serait donc interrompu sans cette disposition, qui, d'ailleurs, est superflue pour les machines soufflantes à régulateur. Elle est superflue aussi, lorsque trois soufflets versent leur vent dans une même tuyère; parce qu'il s'en trouve toujours au moins un qui est au milieu de la course descendante.

490. Il serait possible qu'en s'ouvrant, l'un des soufflets aspirât par la buse une certaine quantité de l'air expiré par l'autre; ce qui serait très-préjudiciable, non-seulement parce qu'il en résulterait une perte de vent, mais aussi parce que le fluidc pourrait entraîner dans l'intérieur de la caisse du laitier ou du charbon incandescent. Il est donc avantageux d'adapter à la têtière une soupape d'expiration qui puisse empêeher l'air de refluer par la buse. On ne peut s'en dispenser pour les soufflets qui versent leur vent dans un réservoir commun; et pour les autres, c'est un moyen d'augmenter l'effet; car on diminue l'espace nuisible d'une quantité égale à la capacité de la buse.

491. Quoique la méthode de réunir l'air de plusieurs

soufflets dans un seul réservoir soit de jour en jour plus suivie; cependant par routine, par préjugé, par défaut de jugement, il arrive souvent encore que les buses des soufflets sont placées immédiatement dans la tuyère. Des maîtres fondeurs et des maîtres affineurs, cherchent quelquefois à cacher leur ignorance sous le voile de prétendus secrets relatifs à la direction qu'il faut donner aux soufflets et aux buses.

Les soufflets reposent sur un échafaudage dont la hauteur et la construction dépendent du mode qu'on suit pour communiquer le mouvement au volant. De quelque façon qu'ils soient placés sur les poteaux, il est essentiel qu'ils ne penchent d'aucun côté et qu'ils jouissent de la plus grande stabilité.

La têtière est souvent assujettie dans un bloc de bois, à l'aide de coins, afin que la buse ne puisse éprouver aucune déviation. Le *pied* des soufflets qui fait corps avec le gîte, entre dans les poutrelles par tenons et mortaises.

492. La force qui agit sur le volant doit l'abaisser au lieu de le soulever : elle peut y être appliquée immédiatement ou médiatement. Dans le premier cas, on emploie le plus souvent des cammes, qui pressent sur le plan supérieur ou sur des pièces de bois de différentes formes liées à la caisse. On peut aussi faire mouvoir le volant, à l'aide de manivelles ou de roues dentées.

Il existe tant de moyens d'employer la force de l'eau, de la vapeur ou des animaux pour la faire agir sur un point donné; on peut combiner ces moyens de tant de manières différentes, qu'une semblable énumération ne pourrait être qu'imparfaite et superflue. La chose essentielle, c'est de choisir pour chaque cas particulier, le mécanisme le plus simple, afin de

diminuer le frottement autant qu'il est possible: les roulettes sont à cet effet, d'un excellent usage. Enfin il faut substituer par-tout le fer au bois dans les parties de machine destinées à se mouvoir.

493. La caisse doit être soulevée après le mouvement descendant; pour cet effet, on l'assujettit à des balanciers chargés de contre-poids, ou à des ressorts en bois; ce sont de simples perches, qui agissent par leur élasticité. Une méthode vicieuse, qui est devenue très-rare aujourd'hui, consiste à suspendre les deux volans aux extrémités d'un levier à deux branches; de sorte que l'un des soufflets remonte par le mouvement du balancier, quand l'autre s'abaisse en obéissant à l'action de la force motrice. Cette disposition est vicieuse en ce que les volans se trouvent sollicités par une force oblique, et que leur mouvement descendant ne peut jamais être simultané *.

Le contre-poids étant une charge pour la machine, ne doit pas être trop considérable. Si d'ailleurs on fait remonter la caisse avec une grande impétuosité, la soupape ne peut s'ouvrir convenablement, et le soufflet se remplit d'un air dont la densité n'est pas entièrement égale à celle de l'air atmosphérique. L'excès contraire présente le même inconvénient: c'est donc par des essais et des tâtonnemens qu'on doit

* En France, où cette manière de soulever les volans est encore fréquemment employée, on remédie aux inconvéniens signalés par M. Karsten, 1°. en fixant aux extrémités du balancier, des arcs de cercle pourvus chacun d'une chaîne, qui s'applique sur la courbe et soulève le volant sans altérer la direction; 2°. en suspendant le balancier à un ressort de bois qui, en vertu de son élasticité, permet un abaissement simultané des deux caisses mobiles.

Le T.

s'assurer de la puissance qu'il faut donner à ces contre-poids.

494. Les soufflets trapézoïdaux sont plus usités que les soufflets de forme carrée et à charnière, sans doute parce qu'ils entrent plus facilement dans l'embrâsure de la tuyère. Mais depuis qu'on réunit l'air de plusieurs soufflets dans un réservoir commun, les derniers sont devenus d'un fréquent usage *.

495. On croyait anciennement que pour obtenir un succès complet dans le traitement des minérais et l'affinage de la fonte, il fallait de toute nécessité avoir deux buses dans la tuyère. Depuis qu'en secouant ce préjugé, on s'est convaincu que l'emploi d'une seule buse était plus commode et qu'elle entraînait une moindre perte d'air, on a commencé aussi, pour les soufflets à charnière, de réunir leur vent dans un réservoir commun, d'où il se rend par une seule buse dans la tuyère; les soupapes d'expiration deviennent alors indispensables. Dans ce cas, la longueur des porte-vent est plutôt avantageuse que nuisible, parce qu'ils font partie du réservoir commun, dont ils augmentent la capacité. Cette longueur serait préjudiciable, si la soupape d'expiration, au lieu d'être adaptée immédiatement au soufflet, l'était à l'embouchure de ces tuyaux dans le réservoir : les efforts du construc-

* La forme carrée ne doit offrir aucun avantage, 1°. parce que la charnière étant alors beaucoup plus longue, le frottement accidentel devient plus considérable ; 2°. parce que le soufflet carré qui aurait la même amplitude de mouvement et la même superficie de plateaux que le soufflet trapézoïdal, donnerait moins de vent que ce dernier; mais il est juste de faire observer aussi qu'il occuperait moins de place dans l'usine.

Le T.

teur doivent toujours tendre à diminuer l'espace nuisible.

La buse est assujettie au porte-vent du réservoir, à l'aide d'une peau attachée à l'un et à l'autre de ces conduits, par des anneaux en fer qu'on peut resserrer avec des vis. De cette manière on la dirige commodément, ce qui n'a pas lieu lorsqu'elle est fixée à la têtière des soufflets. Pour les feux d'affinerie, on désire qu'elle exerce une pression sur le plat de la tuyère, afin que celle-ci soit mieux consolidée et qu'elle puisse résister davantage au choc du ringard : on produit cet effet en la plaçant dans une pièce de bois semblable à une têtière, qui, dans l'embrâsure des soufflets, peut recevoir une position très-stable, et qui, par le sac en cuir, est mise en communication avec le porte-vent.

496. On trouve encore beaucoup de hauts fourneaux activés par trois ou quatre soufflets à charnière qui versent leur vent dans un réservoir commun. Cependant, on commence d'abandonner ces machines soufflantes : 1°. parce qu'elles occupent beaucoup de place dans l'usine, lorsqu'elles doivent fournir une grande quantité d'air; 2°. parce que leur frottement est considérable; 3°. parce qu'elles sont plus dispendieuses dans leur construction et leur entretien que les soufflets à piston; 4°. enfin, parce qu'elles donnent moins de vent à cause de l'espace nuisible qui est toujours très-grand, lors même que le volant atteint le point le plus bas de sa course.

Remarquons, toutefois, que les soufflets de bois ont produit une amélioration sensible dans les travaux métallurgiques, et que la sidérurgie leur doit une grande partie de ses progrès; mais aujourd'hui ils devraient être remplacés par les soufflets à piston.

DES SOUFFLETS A PISTON.

497. Dans les soufflets à charnière, c'est une caisse qui se meut autour d'un axe et qui se rapproche ou s'écarte d'une autre caisse plate, ou plutôt d'un plateau immobile. Plus tard, on eut l'idée de rendre la caisse fixe et le plateau mobile, de les détacher l'un de l'autre et de remplacer le mouvement angulaire par un mouvement de translation. On parvint de cette manière, à mieux empêcher les pertes d'air, à diminuer les frottemens, à éviter celui qu'occasionnait la charnière. Le plan mobile, qui s'appelle piston, porte les soupapes d'aspiration; celle de l'expiration est adaptée au fond de la caisse; elle est ou conique ou à clapet. Lorsqu'on fait usage des soupapes coniques, il faut que le cône et sa boîte soient travaillés sur le tour avec précision; l'axe du premier traverse deux étriers placés en dessus et en dessous (fig. 19), afin qu'il soit maintenu toujours dans une direction constante et que la soupape ne puisse pas trop s'ouvrir.

498. Les soufflets à piston peuvent être carrés ou cylindriques; cependant, on n'appelle machine soufflante cylindrique que celle dont les cylindres sont en fonte. Les caisses sont confectionnées le plus souvent en fortes planches : près de Namur, on en trouve qui sont de marbre; en Russie, on les double souvent avec des plaques de fonte ou de plomb.

Le procédé qu'on suit généralement pour fermer le passage à l'air, est le même que pour les soufflets à charnière, et il demande encore de grandes améliorations; parce que les liteaux ne peuvent joindre assez bien aux parois de la caisse, qu'ils laissent toujours

échapper une certaine quantité de vent et qu'ils produisent un frottement considérable : on ferait bien de les remplacer par le cuir rembourré de laine, dont on fait usage pour les machines soufflantes en fonte.

On garnit le plateau mobile avec du bois, comme le gîte des soufflets à charnière, afin de diminuer l'espace nuisible. Les liteaux, les ressorts et les soupapes doivent être visités et nettoyés fréquemment.

La tige du piston est assujettie au plateau par une barre de fer, qui porte un écrou à l'une de ses extrémités et qui, percée de plusieurs trous, est fixée dans la tige par des boulons à bouts taraudés (fig. 20); *a* est la tige assujettie au plateau mobile par la barre de fer; *b* sont des jambettes qui servent à consolider le système; *i,i* les soupapes pour l'aspiration de l'air; *x,x* les liteaux qui reposent sur le piston, et qui sont pressés par des ressorts contre les parois de la caisse.

L'usage des soufflets à piston devient de jour en jour plus général. Leur emploi serait très-avantageux, si l'on parvenait à améliorer leur construction, quant aux moyens qu'on pratique pour empêcher l'air de sortir entre le plateau mobile et les parois de la caisse.

La forme cylindrique pour les soufflets en bois est assez rare, parce que les caisses carrées se confectionnent avec plus de précision et de facilité *.

499. Tous les soufflets en bois ont du reste le défaut

---

* Cela n'est pas contradictoire avec ce qui a été dit au sujet des trompes, paragraphe 462; parce que les cuves des trompes n'ont point de piston, et que toute la difficulté consiste à le faire joindre hermétiquement aux parois de la caisse et dans toute la longueur de sa course.

Le T.

d'éprouver un frottement considérable et de perdre beaucoup d'air par les jointures, quelque soin qu'on apporte à leur confection. C'est ce qui a déterminé les Anglais à leur substituer des cylindres en fonte. La forme cylindrique a reçu la préférence, parce qu'elle présente plus de facilité dans son exécution.

Ces machines soufflantes introduites dans la haute Silésie, depuis une vingtaine d'années, commencent à se répandre en Allemagne et en France. Le piston en fer (fig. 21) se compose d'un plateau avec un rebord *aa* percé, près de la circonférence, d'un système de trous espacés entre eux de 8 à 12 pouces; au centre est le fourreau *b* qui doit recevoir la tige, dont la longueur est déterminée par celle du cylindre et par l'étendue de la *volée* *. Cette tige s'ajuste parfaitement dans le fourreau; tous les deux sont percés d'une ouverture dans laquelle on enfonce une clavette qui fixe la tige au plateau.

On rembourre, avec de la laine, l'espace annulaire formé par le rebord *aa* et une bande d'un très-fort cuir, assujettie au plateau par des vis qui sont munies d'écrous et qui traversent les trous dont il s'agit.

Le diamètre du piston diffère de celui du cylindre de 6 à 9 millimètres (3 à 4 lignes). Il en est de même pour les dimensions d'un anneau *dd*, dont le cuir est couvert et qui se confectionne avec du bois dur et sec, principalement avec du chêne; il est percé d'un nombre de trous égal à celui du plan mobile. Sur l'anneau en bois se place un anneau en plomb, qui, retenu aussi par les vis, donne plus de solidité à l'autre, afin que les écrous puissent être serrés avec plus de force.

* L'ascension du piston s'appelle *volée* ou *levée*.

Le T.

Il est essentiel que le cuir reste toujours tendu pendant le jeu du piston. C'est donc ce bourlet qui ferme le cylindre hermétiquement; il ne doit dépasser le bord du disque mobile que d'une quantité égale à la différence d'un diamètre à l'autre. La plombagine mise sur le cuir et sur les parois du soufflet, sert à diminuer le frottement.

Les cylindres, après avoir été polis sur le tour, ne doivent présenter ni endroits rudes, ni soufflures, qui déchireraient le cuir. La concentricité la plus parfaite est une condition indispensable pour que le contact soit intime et le frottement uniforme.

Le creux formé par le rebord serait très-préjudiciable à l'effet de la machine; on le remplit avec du bois et l'on ne ménage que l'espace strictement nécessaire au jeu des soupapes.

500. Les soufflets à piston peuvent être disposés et construits de manière que le fond de la caisse soit placé en dessus ou en dessous : dans le premier cas, l'air est comprimé par le mouvement ascendant du plateau mobile, et dans le deuxième, par son mouvement descendant.

Dans les soufflets en bois, le fond est fixé aux parois par un assemblage à queue d'aronde. Dans les soufflets en fer, il porte un rebord assujetti par des vis au rebord du cylindre : un anneau en plomb mis entr'eux, sert à fermer le passage à l'air.

La caisse et le piston, au lieu d'être placés debout, pourraient être couchés ou recevoir une position inclinée à l'horizon, pourvu toutefois que l'axe de l'une et celui de l'autre coïncidassent parfaitement : mais cette disposition entraînerait une plus grande complication dans ces appareils, et le plateau mobile,

sollicité par sa pesanteur, exercerait une plus forte pression sur les parois inférieurs du cylindre. Ces machines soufflantes se rencontrent rarement; on doit préférer les autres.

Si les caisses reposent sur leur fond, les soufflets sont dits *aller par dessus*, pour les distinguer de ceux dont le fond est tourné vers le haut et qui *vont par dessous*. Il est essentiel dans l'un et l'autre cas, que leur axe soit dans une direction parfaitement verticale.

501. Voici quelle est en général la construction d'un soufflet allant *par dessous* (fig. 23): A est la caisse, B le plateau mobile, C la tige du piston, *m* la soupape d'expiration adaptée au fond et placée dans un compartiment distinct D, qui communique par un porte-vent, soit au régulateur soit immédiatement à la buse. Lorsque le piston descend, la soupape *m* se ferme et les autres *i,i* s'ouvrent pour donner entrée à l'air extérieur; le contraire a lieu dans le mouvement rétrograde où la soupape *m* s'ouvre pour offrir un passage au fluide comprimé. Toutes choses égales d'ailleurs, on obtient d'autant plus de vent que ces mouvemens se succèdent avec plus de rapidité. Il est visible que le clapet *m* ne peut se lever que lorsqu'une partie de la course ascendante est achevée, puisqu'au-dessus de la soupape *m*, l'air est dans un état de compression, tandis que dans l'intérieur de la caisse, il n'a que la densité atmosphérique : il faut donc qu'il ait reçu d'abord une pression qui puisse vaincre l'autre augmentée de tout le poids du cône ou du clapet.

Si par conséquent, avec deux soufflets simples on veut obtenir un jet d'air continu, il faudra que la vitesse des pistons soit accélérée d'abord et ralentie

vers la fin, pour que le deuxième puisse commencer le mouvement ascendant avant que le premier l'ait terminé. Quand on en a trois, on peut imprimer aux plateaux une vîtesse uniforme.

502. Dans les caisses posées *sur leur fond* (fig. 24), les plateaux mobiles n'ont point de soupapes. Celle qui sert à l'inspiration *i*, est placée sur les côtés, très-près du fond, ou elle est adaptée au fond même, comme en *m*. Si les soufflets sont disposés immédiatement sur le plancher de la chambre *, on établit au-dessous de la soupape *m* un canal qui puisse donner entrée à l'air. La soupape d'expiration *n* communique par un porte-vent, au réservoir ou à la buse.

Par une disposition de soupapes semblable à celle de *i* et de *n*, il se formerait un espace nuisible d'une assez grande capacité; on aurait deux moyens pour remédier à cet inconvénient : le plus simple serait de garnir le fond avec du bois, et de ne laisser que l'espace strictement nécessaire au jeu des soupapes; on pourrait aussi pratiquer dans le fond deux renfoncemens *a* et *b*, pour l'aspiration de l'air atmosphérique et pour l'émisssion de l'air comprimé; mais dans l'un et dans l'autre cas, on serait obligé de conserver un certain espace qui se remplirait d'air comprimé, et qui diminuerait l'effet de la machine. C'est en raison de cette défectuosité, et parce qu'il faut maintenir contre l'action de la pesanteur, les liteaux des soufflets qui

---

* En Allemagne, les soufflets sont placés presque toujours dans une espèce de chambre, pour être mieux abrités de la poussière.

Le T.

vont *par dessus*, que les soufflets allant *par dessous* doivent avoir la préférence *.

503. Les pistons des machines soufflantes en fonte et à simple effet, peuvent se mouvoir aussi de bas en haut ou de haut en bas. L'inconvénient pour les cylindres posés sur leur fond, n'est pas aussi grave que pour les caisses en bois, parce qu'on peut y adapter des cols dans lesquels se placent les soupapes. Le plan mobile peut s'approcher alors très-près de l'autre. Cependant on préfère les cylindres qui vont par dessous; ils n'ont pas besoin de col, parce que la soupape *d'expiration* peut s'adapter immédiatement au plateau immobile **. Quelque petites que soient ces boîtes, elles laissent toujours un espace nuisible; si on les faisait au côté du cylindre, ce serait encore plus préjudiciable, à moins que le plan fixe n'avançât dans l'intérieur d'une distance égale à la hauteur du col, sans pourtant interrompre les communications avec les soupapes.

Dans la construction de toutes ces machines, il est de la plus haute importance de restreindre l'espace nuisible et de rapprocher les soupapes contenues dans les cols ou les boîtes, des parois ou des plateaux des soufflets.

504. Dans les caisses ou dans les cylindres placés debout, il est essentiel que les pistons conservent toujours une direction verticale. On leur transmet le

---

* Ajoutons encore qu'une partie de la poussière qui se dépose en grande quantité sur le piston, pénètre dans l'intérieur de la caisse et nécessite, pour les soufflets placés sur leur fond, de plus fréquentes réparations.

Le T.

** C'est aussi à cause de la poussière et parce qu'on peut adapter au plan *mobile* les soupapes d'*inspiration*, qu'on les préfère.

Le T.

mouvement comme aux soufflets à charnière, par des cammes épicycloïdales, des roues dentées ou des manivelles. Dans les soufflets posés sur leur fond, il faut relever le piston lorsqu'il est abaissé, à moins qu'on ne fasse usage de la manivelle; on emploie pour cet effet des contre-poids suspendus à l'une des extrémités d'un lévier : mais, comme la direction de cette force ne doit pas sortir de la verticale, il faut que le balancier porte un arc de cercle, ou que les contre-poids agissent sur des poulies. Dans les soufflets qui vont par dessous, le piston retombe en vertu de la pesanteur; pour le retarder dans sa chute, pour prévenir les secousses et l'ébranlement de la machine, on le met en communication avec des contre-poids, ou bien on fait glisser la tige sur une épicycloïde renversée *.

505. La tige des soufflets dont le fond est en dessus, traverse quelquefois le plateau supérieur, si l'on trouve plus d'avantage dans la manière d'appliquer la force motrice. L'ouverture circulaire pratiquée à cet effet dans le fond, est doublée ordinairement en cuivre jaune, afin que le frottement soit diminué. Du reste on ne change pas les autres dispositions de la machine.

Les forces motrices sont l'eau, la vapeur ou la force animale. Cette dernière qui est la plus dispendieuse,

---

* Le mouvement circulaire uniforme ne peut être changé en mouvement rectiligne uniforme, si les cammes n'ont pas la courbure d'une développante de cercle. Les cammes epicycloïdales ne peuvent servir qu'à changer un mouvement circulaire en un autre pareillement circulaire : elles ne paraissent donc propres qu'au jeu des soufflets à charnière. Mais n'oublions pas que le mouvement des pistons ne doit être uniforme que dans le cas où l'on n'emploie point de régulateur. Voyez le paragraphe 501.

Le T.

ne doit servir que rarement. Si l'on peut disposer d'une chute d'eau, on trouve toujours de l'économie dans l'emploi de la roue hydraulique. C'est d'ailleurs aux localités à décider si les produits de l'usine peuvent supporter les frais d'entretien d'une machine à vapeur.

506. Nous n'avons parlé jusqu'ici que des soufflets simples appelés ainsi, parce qu'ils ne peuvent donner de l'air que pendant un seul des deux mouvemens du plateau; mais aujourd'hui on emploie avec beaucoup d'avantage les soufflets à double effet, qui fournissent de l'air lorsque le piston descend et lorsqu'il remonte. Cette heureuse invention a simplifié les appareils et diminué la capacité des cylindres.

L'emplacement des soupapes présente quelque obstacle dans les soufflets en bois à double effet (502); bien qu'à force de soin on puisse vaincre cette difficulté. Quoi qu'il en soit, il faut préférer toujours les cylindres en fer, parce que les caisses en bois ne sont pas assez solides et que par les jointures et même à travers les fibres du bois, elles offrent de nombreuses issues à l'air; elles seraient susceptibles cependant de grandes améliorations : il faudrait remplacer d'abord les liteaux par un bourlet en cuir et enduire la surface du bois avec un vernis.

Dans les contrées où l'achat des cylindres de fonte fait naître encore de trop grandes dépenses, on devrait du moins améliorer la construction des soufflets à piston en bois : couverts d'une épaisse peinture à l'huile, les caisses se conserveraient plus long-temps, seraient mieux fermées, et elles remplaceraient jusqu'à un certain point les cylindres en fonte.

507. Dans les soufflets cylindriques à double effet (fig. 25), le piston ne peut avoir aucune ouverture;

cependant il est creux dans le milieu, comme s'il devait recevoir des soupapes, et il porte un rebord vers la circonférence. Cette disposition a pour but de diminuer l'effet de la pesanteur et de décharger la machine d'un poids inutile. L'espace creux se remplit de bois; au lieu d'un anneau (499) placé sur le bourlet en cuir, on prend un cercle plein, traversé au centre par la tige du piston. C'est un moyen de consolider l'assemblage de cette tige et du plateau mobile.

Les soupapes i,i' (fig. 25) aspirent l'air atmosphérique; les soupapes m,m' servent à l'expiration de l'air comprimé; leur position est légèrement oblique, afin qu'elles puissent se fermer en vertu de leur poids, lorsqu'elles ne sont pas repoussées par l'élasticité du fluide. Les clapets confectionnés en bois légers sont doublés de feutre et viennent s'appuyer contre une garniture de cette étoffe ou de peau d'agneau.

On peut adapter les cols aux côtés ou aux deux bases du cylindre, pourvu, toutefois, qu'on mette le plus grand soin à diminuer l'espace nuisible (fig. 25). Dans ce dessin les cols supérieurs se trouvent à la surface courbe et les autres à la base. Le fond qui est au-dessus doit s'avancer dans le cylindre jusqu'au plus bas point des cols, parce que le plateau mobile ne peut s'élever qu'à cette hauteur. Si le coup de piston était parfait, l'espace nuisible devrait être borné à la capacité des cols; ils ne doivent donc recevoir qu'une faible longueur.

Dans l'ouverture x est un fourreau de cuivre jaune; le creux z n'a d'autre but que d'offrir un logement à l'extrémité de la tige qui dépasse le plan mobile.

Les soupapes m et i' s'ouvrent lorsque le piston s'élève; elles se ferment, et les soupapes m' et i s'ouvrent,

lorsqu'il s'abaisse. La fig. 25 le présente dans sa course ascendante.

L'air refoulé qui a passé par les soupapes $m\ m'$, est conduit dans des caisses d'air. Ces caisses, pour un seul cylindre comme pour plusieurs, communiquent entre elles par des portevent qui conduisent le fluide immédiatement aux buses ou dans un réservoir commun d'où il s'échappe ensuite dans les fourneaux.

508. On imprime le mouvement aux pistons avec des manivelles, des roues dentées ou des balanciers mis en communication avec une machine à vapeur à double effet. On conserve à la tige la direction verticale à l'aide du parallélogramme.

DES SOUFFLETS HYDRAULIQUES.

509. Le mécanisme des soufflets hydrauliques est très-simple : dans une cuve contenant de l'eau A (fig. 26), se meut une caisse renversée B ; en s'abaissant, elle refoule l'air contre la surface de l'eau, et le force à s'échapper par une soupape qui dépasse le niveau du liquide. Quand elle s'élève, l'air atmosphérique pénètre dans l'intérieur par une autre soupape disposée d'une manière semblable ; comprimé de nouveau, il s'échappe par la première, et ainsi de suite.

M. Baader, qui vient de reproduire ces soufflets (455), propose plusieurs améliorations empruntées des machines soufflantes en fonte : la caisse se meut entre des rouleaux (fig. 26). Si la force motrice est appliquée de manière, qu'au lieu de la soulever elle l'abaisse, il faudra que la tige puisse se mouvoir dans un fourreau (un tube cylindrique) ajusté au fond de la cuve.

C'est par la soupape *i* que l'air est inspiré ; l'es-

pace x au-dessous de cette soupape est donc en communication avec l'air atmosphérique : il y a de l'avantage à le faire très-large; c'est un moyen de diminuer le volume d'eau déplacé. Il en est de même du canal z qui, considéré comme une caisse d'air, peut être mis en communication avec les autres soufflets, avec le régulateur ou avec la buse. La soupape m, pour bien se fermer, n'est pas suspendue verticalement; l'espace n en avant du clapet, doit être le plus petit possible.

510. La construction que nous venons d'indiquer, est celle que M. Baader a proposée en dernier lieu. On ne peut révoquer en doute que ces machines soufflantes ne puissent rendre tous les services qu'on peut exiger des soufflets à piston en bois; mais l'effet en est d'autant plus faible, que la surface de l'eau contenue dans la caisse intérieure est plus considérable; il faut donc la diminuer autant qu'il est possible.

Au moment où la caisse mobile est arrivée au plus haut point de sa course, les deux colonnes d'eau sont de niveau, parce qu'elles n'ont à supporter l'une et l'autre que la pression de l'air atmosphérique. Lorsque la caisse descend, l'air, se trouvant comprimé, agit sur la surface intérieure avec une force nouvelle, et l'abaisse au-dessous de son premier niveau; tandis qu'il soulève la colonne extérieure jusqu'à ce que leur différence de hauteur fasse équilibre à la pression du fluide. L'espace nuisible qui restera rempli d'air comprimé, sera donc proportionnel à la surface du liquide, et cet air ne pourra sortir de la machine, quand bien même la caisse descendrait jusqu'aux soupapes. Cette défectuosité se faisait remarquer sur-tout dans les anciens soufflets à eau et dans ceux que M. Baader

avait perfectionnés d'abord. On peut ajouter même que si dans ses nouveaux soufflets hydrauliques, il avait eu plus d'égard à cette considération, il aurait diminué davantage la surface intérieure de l'eau *.

511. Améliorés par M. Baader, les soufflets hydrauliques dont on a tant vanté la perfection, portent aujourd'hui le nom de cet auteur. La forme des caisses est assez indifférente ; M. Baader proposa d'abord d'employer des cuves en bois ; plus tard il a préféré les caisses composées de plaques en fonte. On rencontre une semblable machine soufflante dans les forges d'Eibelshaussen, près de Dillenbourg, où elle active avec avantage un fourneau de $8^{m},7$ de hauteur (28 pieds du Rhin). L'objection qu'on a faite contre ces soufflets, de fournir un air moins bon, n'est pas fondée ; car l'expérience a suffisamment prouvé que l'air qui a séjourné sur une nappe d'eau, ne contracte aucune qualité nuisible aux travaux sidérurgiques. Si le frottement et la perte d'air sont moins considérables que dans les meilleures caisses à piston, les soufflets hydrauliques demandent d'un autre côté, une attention

---

* C'est l'enveloppe liquide comprise entre la caisse et les parois de la cuve qui doit être très-mince, afin qu'une faible quantité d'eau chassée de la caisse puisse produire une grande différence dans la hauteur des deux colonnes ; différence qui mesure la pression de l'air. Si, toutes choses égales d'ailleurs, la surface intérieure de l'eau était diminuée de moitié, par exemple, la base de l'espace nuisible subirait la même diminution ; mais sa hauteur deviendrait deux fois plus grande, et son volume ne serait point changé, à moins qu'on ne diminuât dans le même rapport l'épaisseur de l'enveloppe liquide comprise entre la caisse et les parois du réservoir. Voilà sur quoi doivent porter les améliorations de ce système.

Le T.

particulière pour que l'eau soit maintenue constamment à la même hauteur. Ils sont employés dans plusieurs usines avec beaucoup de succès; mais on ne les a comparés encore qu'à de mauvaises machines soufflantes.

DES RÉGULATEURS.

512. Trois soufflets réunis ensemble, quelle que soit du reste leur forme, donnent toujours un vent continu, parce qu'à tous les instans il se trouve un piston vers le milieu de sa course. Pour ces machines soufflantes, on peut se borner à conduire l'air dans un porte-vent commun, d'où il se rend dans la buse: cependant on manquerait le but, si le jet devait avoir une vîtesse constante.

L'expiration de l'air est encore plus inégale avec deux soufflets, parce que le fluide ne peut s'échapper qu'après être comprimé. Le jet acquiert la plus grande force au moment où l'un des pistons est prêt d'achever sa course; et, comme l'autre commence alors son action, il doit arriver des instans, où, quelle que soit la manière d'ordonner les mouvemens, on n'obtient qu'une assez faible quantité de vent. Un cylindre simple mis en activité par une machine à vapeur à simple effet, donnerait un jet d'air alternatif qui serait toujours faible au premier instant de la course du piston, si l'on n'y remédiait pas d'une autre manière: et, par les raisons que nous venons d'exposer, un seul cylindre, serait-il même à double effet, ne pourrait produire un jet continu.

513. Les appareils qu'on emploie pour obtenir des jets continus et uniformes s'appellent *régulateurs*. Indispensables pour le cylindre simple et nécessaires

pour le cylindre à double effet, puisque ses deux parties ne peuvent jamais expirer de l'air simultanément, ils sont employés aussi pour de plus fortes machines soufflantes composées de deux caisses ou de deux cylindres.

Pour régulariser la vîtesse du vent, il suffit de le diriger dans un réservoir et de le faire sortir ensuite par la buse avec une pression à peu près uniforme; deux moyens se présentent pour conduire à ce but. On peut remplir d'air comprimé un grand espace fermé hermétiquement et mis en communication avec la buse. Si la capacité de ce réservoir est très-grande, par rapport à celle du soufflet, la quantité d'air qu'il contiendra ne pourra éprouver que d'insensibles variations, par le jeu de la machine. Des caisses d'air ou des porte-vent d'une grande longueur agissent donc en quelque sorte comme des régulateurs *. Le jet sera d'autant plus égal que la capacité de ces caisses ou de ces tuyaux sera plus considérable. Un cylindre simple ou même un cylindre à double effet, et généralement tous les soufflets qui produisent des jets d'air alternatifs, exigeraient de très-vastes réservoirs.

514. La difficulté d'établir ces immenses chambres appelées *régulateurs à capacité constante*, les frais de construction qu'ils occasionnent, le temps qui est nécessaire pour les remplir d'air comprimé, sont les causes qui ont fait abandonner leur emploi. Il existait à Devon, en Ecosse, un semblable régulateur taillé dans

---

* J'ai eu plusieurs fois occasion de vérifier ce fait : si deux feux sont activés par une seule machine soufflante qui n'a point de régulateur, c'est dans le feu le plus éloigné des soufflets que le travail de l'affineur s'exécute avec le plus de facilité; c'est ce feu qui reçoit le vent le plus uniforme. Le T.

un roc de grès et dont on avait calfaté les parois, afin de fermer hermétiquement les fissures. Il avait 72 pieds de longueur, 14 pieds de largeur, 13 pieds de hauteur et à peu près 13,000 ppp. de volume *.

515. Le deuxième moyen qu'on peut employer pour obtenir un jet d'une vîtesse constante, se réduit à diriger l'air dans une caisse, où à l'aide d'un poids, il éprouve une pression uniforme et proportionnée à la force de la machine soufflante. Si dans un instant quelconque l'air affluant arrive en moindre quantité, le poids l'empêchera de se dilater; en plus forte masse, il soulevera ce poids, et la vîtesse du vent restera la même. Il s'ensuit que le compartiment supérieur du soufflet de maréchal est un véritable régulateur.

On comprime l'air dans les régulateurs, soit à l'aide d'un piston chargé de poids, soit à l'aide d'une colonne d'eau. Les premiers s'appellent régulateurs secs**, les deuxièmes, régulateurs à eau.

516. En sortant du cylindre, l'air est soumis à une plus forte pression que dans le régulateur, sans cela, il ne pourrait ouvrir la soupape; il doit occuper d'ailleurs un espace plus considérable dans cette caisse destinée à fournir du vent au foyer pendant tout le temps que le piston fait son mouvement rétrograde. Il faut donc que la capacité du réservoir soit plus forte que celle du soufflet. On pourrait croire au premier abord, qu'elle doit être le double; mais rempli entièrement lorsque le piston est au plus haut point, le cylindre ne

---

* Ne sachant pas au juste de quels pieds il est question ici, je n'ai pu les réduire en mesures françaises.

Le T.

** Ou régulateurs à frottement.

Le T.

contient que de l'air non comprimé, qui, dans le régulateur, occupe un volume plus faible. D'après cette considération, et eu égard à la diminution d'effet occasionnée par l'espace nuisible, il suffira de donner au régulateur une capacité surpassant de moitié celle du cylindre.

517. Le régulateur à frottement, se compose d'un cylindre bien alésé, contenant un piston qui se meut dans son intérieur et le ferme hermétiquement; au fond, se trouvent deux ouvertures, l'une pour donner entrée à l'air et l'autre pour établir la communication avec la buse : ni l'une ni l'autre n'ont de soupape, parce que les porte-vent doivent être regardés comme un prolongement du régulateur; mais le conduit qui amène l'air est pourvu d'une soupape adaptée le plus près possible de chaque soufflet, afin que le fluide ne puisse y rentrer par ces tuyaux.

En arrivant au régulateur, le vent se dilate avec une force qui a une égale intensité dans tous les sens; une partie de l'air s'échappe par la buse, et l'autre agit sur le piston qu'elle soulève avec d'autant plus de vîtesse que le poids en est moins considérable. Il faut donc que ce poids se trouve dans un rapport déterminé avec la force de la machine soufflante et la vîtesse qu'on veut donner au vent *.

Un piston trop léger serait lancé en dehors par l'action successive des soufflets; quelle que fût du reste, la hauteur du régulateur. Pressé par un piston trop lourd,

---

* Il est évident que sans rien changer à la force de la machine soufflante, on peut augmenter la vîtesse du vent, en augmentant la charge du piston, mais alors il faut diminuer la bouche de la buse.

Le T.

l'air sortirait par la buse avec une trop grande vîtesse et le jet deviendrait intermittent. Si avec une charge convenable, la capacité du régulateur était trop petite, le piston pourrait encore sortir du cylindre; et si, dans ce cas, on voulait augmenter la charge, on se jetterait dans les inconvéniens d'une trop forte vîtesse. Il s'ensuit que le régulateur doit avoir une grande largeur, afin que son piston n'éprouve qu'un faible déplacement.

518. L'air contenu dans le régulateur, exerce sur tous les points une égale pression, qui, pour une surface donnée, peut être représentée par un poids, et c'est à l'aide de ce poids que le vent se trouve lancé dans le fourneau. Si dans deux régulateurs de largeur différente, l'air devait conserver la même pression, les plateaux chargés de poids ne devraient éprouver que des déplacemens égaux en hauteur *. La pression étant représentée par une colonne d'eau, qui, pour un centimètre carré, peserait $0^k,2$; le poids des pistons doit être de $0^k,2$, pour chaque centimètre carré contenu dans leur surface. Mais l'espace dû au déplacement du piston sera d'autant plus petit que le régulateur sera plus étroit; puisque pour une *même vîtesse de vent* les plateaux convenablement chargés ne doivent s'élever qu'à la même hauteur, quelle que soit l'étendue de leurs surfaces. Si donc le régulateur était très-étroit, l'air ne pouvant se loger dans le petit espace que devrait parcourir le piston, se trouverait comprimé, le souleverait davantage et sa vîtesse de sortie serait changée. Si

---

* Il est évident que si dans le régulateur étroit, le piston se déplaçait davantage, la densité de l'air qu'il contiendrait serait soumise à une variation d'une plus longue durée.

Le T.

l'on voulait y remédier par une augmentation de charge, le vent deviendrait intermittent. Il s'ensuit que ces forts déplacemens qui prouvent toujours de grandes variations dans la vîtesse du vent, doivent être évités autant qu'il est possible, au moyen d'une plus grande largeur donnée au régulateur; ce n'est alors que par mesure de sûreté, pour prévenir les accidens, que ses côtés doivent s'élever à une certaine hauteur au-dessus du piston. En un mot, l'uniformité du jet dépendra de l'aire du plateau.

L'effet de la machine est quelquefois augmenté ou diminué par des causes fortuites. On doit se prémunir contre ces accidens et empêcher que le plateau ne soit jeté au dehors ou qu'il ne tombe sur le fond du régulateur. Il faut donc adapter à celui-ci des soupapes de sûreté qui s'ouvrent lorsque le plateau arrive à un point déterminé, ou donner à ce dernier des soupapes que l'air soulève, quand il est trop fortement comprimé. La machine est mal construite, son effet est manqué, les pertes d'air sont considérables, si les soupapes doivent remédier au défaut de largeur de la caisse.

On prévient l'autre accident à l'aide des supports qui sont placés sur le fond du régulateur et qui servent de point d'appui au plateau, si l'on veut arrêter la machine, ou si, par une circonstance quelconque, elle donne une moindre quantité d'air.

519. Les régulateurs secs sont d'un fréquent usage, mais les fortes machines soufflantes demandent pour cet objet, des cylindres très-larges, chers ou difficiles à confectionner et dispendieux même dans leur entretien, à cause des dispositions qu'on doit faire pour empêcher le dégât qui serait occasionné par le

plateau, s'il venait à être lancé dans l'usine. Des pertes d'air plus ou moins grandes sont d'ailleurs inévitables ; il s'échappe toujours une partie du fluide entre les liteaux et les parois du régulateur, et une autre par les soupapes de sûreté, à moins que le cylindre ne soit très-large et que les changemens dans la pression ne soient insensibles. L'air fourni par chaque coup de piston soulève le plateau chargé de poids et augmente la *vîtesse* du vent; et comme les régulateurs étroits donnent lieu à de grands déplacemens de cette nature, ils présentent à un haut degré les inconvéniens précités. Si le ressort du fluide élastique était constamment égal aux poids du plateau, ce dernier se soutiendrait toujours à la même hauteur, mais il n'en est pas ainsi; n'arrivant que par intervalles, l'air le fait descendre et remonter alternativement, et ce mouvement ne peut s'exécuter sans l'emploi d'une certaine force qui d'ailleurs, est proportionnelle à la vîtesse imprimée au plan mobile.

Le piston d'un régulateur étroit recevra, pour faire place à la même quantité d'air, un mouvement plus grand que celui d'un large régulateur. La densité du fluide ou la vîtesse du vent, qui éprouve des variations analogues à ces déplacemens, ne peut donc devenir constante que pour un cylindre d'une largeur infinie par rapport au soufflet.

La confection des larges cylindres étant dispendieuse, on a voulu les remplacer par des caisses composées de plaques en fonte; mais il devenait alors plus difficile de les fermer hermétiquement, et les pertes d'air augmentaient encore. L'extrême largeur des cylindres, l'embarras de les monter, les pertes de vent, la crainte des accidens, ont fait restreindre leur usage

pour les machines soufflantes d'une force moyenne; et pour les grandes machines, on emploie toujours le régulateur à eau qui d'ailleurs peut servir aussi pour les autres.

La crainte des accidens est bien justifiée par l'extrême pesanteur du plateau. Lorsque le régulateur a $2^m,30$ de diamètre, et que la pression de l'air est égale à $0^k,2$ par centimètre carré, le plateau doit peser 8309 kil.

520. *Le régulateur à eau* se compose d'une caisse plongée dans l'eau jusqu'à une certaine hauteur. La partie de cette caisse comprise entre la surface liquide et le plan supérieur, reçoit l'air des machines soufflantes, et lui donne une issue dans la buse. L'eau contenue dans la caisse B (fig. 27 et 28), lorsqu'elle est refoulée par le ressort du fluide élastique, remonte dans le bassin A, puisque cette caisse, au lieu de reposer sur le fond de ce bassin, est disposée sur des chantiers *i*, afin que la communication entre les deux colonnes d'eau, ne soit pas interrompue. Si les deux surfaces liquides étaient également comprimées, elles se maintiendraient à la même hauteur: c'est ce qui a lieu dans l'état naturel, étant soumises l'une et l'autre à la pression de l'air atmosphérique.

521. Lorsque le régulateur B se remplit d'air comprimé, la colonne intérieure s'abaisse au-dessous du premier niveau, et l'autre s'élève au-dessus de ce point, en raison du volume d'eau déplacé. Si le réservoir et le bassin ne pouvaient pas être assimilés aux deux branches d'un tube recourbé à hauteurs indéterminées, la colonne d'eau déplacée serait précisément celle qui ferait équilibre à la pression de l'air ; mais en même temps qu'elle s'abaisse d'un côté, elle s'élève

de l'autre; en sorte que le liquide chassé de la caisse ne forme qu'une partie de la colonne qui mesure la compression du fluide élastique *.

Soit *ee* le niveau naturel et supposons que les deux nappes soit égales en surface, l'eau du bassin s'élevera au-dessus de *ee* de la même quantité que la colonne intérieure s'abaissera au-dessous de cette ligne **. Si la pression de l'air était mesurée par une colonne de 6 pieds, l'eau devrait s'abaisser dans la caisse de 3 pieds et s'élever dans le réservoir de la même quantité au-dessus de *ee*. En supposant que les deux nappes d'eau ne fussent point égales, leurs distances au plan *ee* seraient réciproquement proportionnelles à leurs surfaces. Pour une nappe intérieure deux fois plus grande que celle de l'enveloppe, le niveau descendrait dans le régulateur de 2 pieds et remonterait de 4 dans le bassin. Le rapport entre ces déplacemens dépend donc du rapport des surfaces; mais leur somme, ou ce qui revient au même, la différence entre la hauteur intérieure et la hauteur extérieure du liquide, est toujours égale à la colonne d'eau qui mesure la pression de l'air.

522. Les porte-vent qui amènent l'air et ceux qui le conduisent dans la buse sont adaptés au plan supérieur de la caisse. Peu importe qu'ils soient espacés ou

---

* Si, par exemple, le bassin avait un orifice pour l'écoulement du liquide, à la hauteur du niveau naturel, la colonne d'eau sortie de la caisse serait précisément celle qui mesurerait la pression de l'air.

Le T.

** Il est sous-entendu que le bassin et le régulateur ont une forme prismatique ou cylindrique.

Le T.

rapprochés l'un de l'autre, ou mis en communication; ce qui est essentiel, c'est que la soupape du porte-vent qui conduit l'air dans le régulateur, soit placée très-près du soufflet.

On pourrait à la rigueur faire la grandeur du bassin et celle du régulateur dans un rapport quelconque. Cependant, l'eau devant s'élever davantage dans le premier, s'il est étroit, il faut lui donner alors une plus grande élévation au-dessus du niveau naturel. Pour plus de simplicité, on s'arrange de manière que les aires des deux nappes d'eau soient égales.

523. Quant à la largeur de la caisse, par rapport à la capacité du soufflet, tout ce qui a été dit du régulateur à frottement (516-518), s'applique au régulateur à eau. Le poids du plateau est remplacé par la hauteur de la colonne d'eau $\alpha\,\beta$. Cette hauteur est d'autant moins variable que la pression de l'air est plus égale, et cette pression ne peut approcher de l'uniformité qu'autant que la largeur de la caisse est très-grande par rapport à la capacité du cylindre.

La nappe d'eau $\alpha\alpha$, également comprimée sur tous les points, se maintiendra d'autant mieux, au même niveau, que les quantités d'air affluant et sortant réparties sur toute l'étendue de cette surface auront une plus faible hauteur. Lancé dans un régulateur étroit, l'air abaisserait fortement le niveau $\alpha\alpha$, ce qui ne peut avoir lieu que par un surcroît d'élasticité ou de vîtesse du vent. La colonne d'eau $\alpha\beta$ augmentée de hauteur, accélérerait l'expiration de l'air dans le mouvement rétrograde du piston; de sorte qu'il serait possible que le liquide reprît le niveau *ee* avant qu'il arrivât dans la caisse un autre jet d'air. Il en résulte que la vîtesse du vent chassé dans le foyer, suit

dans ses variations les changemens de hauteur de la colonne $\alpha\beta$.

524. Le régulateur à eau, plus dispendieux dans la construction que le régulateur à frottement, possède sur celui-ci l'avantage de n'exiger aucune dépense pour son entretien et de ne pas occasionner de perte d'air, si toutefois il est bien conditionné. Le bassin *a b c d* se construit d'ordinaire en maçonnerie, quoiqu'on puisse aussi le confectionner en madriers. Les plaques de fonte qui forment la caisse se recouvrent dans les joints : après les avoir garnies dans leurs rainures avec des étoupes, on les assemble en les serrant fortement avec des vis; celles qui sont employées pour les angles portent des rebords percés de trous taraudés. Enfin tout ce système est consolidé par des crampons et des barres de fer appuyées contre les parois du bassin.

525. On a voulu jeter une défaveur sur les régulateurs à eau, en prétendant que l'air qui séjourne sur ce liquide, se charge de vapeurs aqueuses et devient moins propre à la combustion. Aucun fait d'expérience n'a prouvé encore que l'air comprimé sur l'eau, en absorbe une plus grande quantité; et il est constaté par de nombreuses observations, que la fusion des minérais s'opère aussi bien avec le vent sorti des régulateurs à eau qu'avec celui des régulateurs secs.

On ne peut révoquer en doute que l'humidité de l'atmosphère ne soit nuisible au traitement des minérais. Il est probable que l'air humide ne se laisse pas comprimer au même degré que l'air sec; mais ne connaissant pas encore le mode de combinaison de ce fluide élastique avec l'eau, nous ne pouvons juger d'après l'effet de l'air humide expiré par les machines soufflantes dans un temps de pluie, de l'effet que doit

produire un air qui a séjourné quelque temps sur l'eau; d'autant plus qu'il n'est nullement prouvé qu'il a dû s'en charger d'une plus forte dose.

On cite une expérience faite en Angleterre : des vapeurs rouges de feu furent lancées dans le fourneau pour augmenter l'effet de la machine soufflante par la décomposition de l'eau ; au lieu d'obtenir un succès de cette nature, on ne fit qu'éteindre les charbons, figer la matière fondue et refroidir le fourneau ; mais on ne peut affirmer que les vapeurs aqueuses et l'humidité contenue dans l'air produisent le même effet. Quoi qu'il en soit, le régulateur à eau doit être absout du reproche de vicier l'air; et, d'après les raisons que nous avons données précédemment, on doit le préférer au régulateur à frottement : il faudrait en pourvoir toutes les machines soufflantes composées de moins de trois caisses ou cylindres.

DU VOLUME, DE LA DENSITÉ ET DE LA VITESSE DE L'AIR FOURNI PAR LES MACHINES SOUFFLANTES.

526. La quantité de charbon consumé est en rapport avec la quantité d'air lancée dans le fourneau ou avec l'effet de la machine soufflante. Pour qu'on puisse tirer le parti le plus avantageux de la chaleur dégagée par la combustion, il faut que la largeur du foyer soit proportionnée à la masse d'air qu'il reçoit ; mais il ne suffit pas toujours d'augmenter la dose de vent, on doit avoir égard aussi à la vitesse, à la densité de l'air qui convient à la nature du combustible. Le coke dur brûle sans dégager beaucoup de chaleur, quel que soit le volume d'air qu'on lui fournisse dans un temps donné, si cet air n'est pas soumis à une certaine pres-

sion; tandis qu'un vent animé d'une grande vîtesse, consumerait le charbon de sapin avec trop de rapidité et sans que ce dernier pût produire l'effet qu'on peut en attendre par une plus lente combustion. Il faut donc savoir calculer, non-seulement le volume de l'air fourni par les soufflets, mais aussi la vîtesse avec laquelle on doit le lancer dans le fourneau.

527. Le volume de l'air et sa vîtesse sont dépendans l'un de l'autre. Une certaine masse d'air qu'on chasse par un petit orifice, doit se comprimer davantage et recevoir une plus grande vîtesse que si, toutes choses égales d'ailleurs, elle passait dans le même temps par une plus large ouverture. Cent pieds cubes de ce fluide sous la pression atmosphérique, expirés dans une seconde par une ouverture d'un pied carré, auraient une vîtesse de 100 pieds par seconde; la même quantité d'air lancée par une ouverture d'un quart de pied carré, recevrait une vîtesse de 400 pieds. Les vîtesses de l'air ramené à la pression atmosphérique, sont donc réciproquement proportionnelles aux surfaces des orifices d'expiration.

Il existe par conséquent deux moyens d'augmenter la vîtesse du vent fourni par une machine soufflante : il faut ou rétrécir la buse ou accélérer le mouvement des pistons; on diminue la pression de l'air d'une manière inverse.

Il s'ensuit qu'avec les petites machines soufflantes, on ne peut augmenter le volume de l'air sans en diminuer la pression; mais chaque espèce de charbon demande une vîtesse déterminée; il faut donc, pour accroître le volume d'air, accroître aussi la force de la machine soufflante.

528. La relation qui existe entre les vîtesses du

vent et les aires des orifices d'expiration, nous offre un moyen très-simple de calculer la quantité d'air et la vîtesse du vent qu'on peut obtenir avec une machine soufflante; il suffira de connaître la capacité des caisses et de s'assurer par l'observation du nombre des coups de piston fourni dans un temps donné; car la surface du piston est à la bouche de la buse, comme la vîtesse du vent est à celle du piston. Une machine soufflante composée de trois caisses ou cylindres dont les pistons auraient chacun 12 pieds carrés de surface et 3 pieds de volée, donnerait par coup de piston de ses trois caisses, 108 pieds cubes d'air atmosphérique; si elle fournit huit coups sembables par minute, le volume d'air qu'elle peut donner sera de 108×8 pieds cubes. Mais on peut supposer que les trois pistons, qui ont chacun une vîtesse représentée par 8×3 pieds soient remplacés par un seul dont la vîtesse serait $8 \times 3 \times 3 = 72$ pieds par minute. En supposant que l'ouverture de la buse soit égale à 6 pouces carrés, on aurait la proportion suivante:

Six pouces carrés sont à 12 pieds carrés, surface du piston :: 72 : x, ou 6 : 1728 :: 72 : x; x serait la vîtesse du vent, si la minute représentait l'unité de temps, ce qui donne pour la vîtesse par seconde, 345 pieds et demi.

529. La pression exercée sur l'air influe non-seulement sur sa vîtesse, mais aussi sur son volume; l'espace qu'il occupe est en raison inverse de la force comprimante. Pour s'échapper par la buse, il doit avoir une certaine vîtesse qu'il ne peut acquérir que par la compression dont l'effet se propageant sur tous les points, augmente la densité en diminuant le volume.

Soit P la pression atmosphérique évaluée en poids, pour les points du globe situés à égales hauteurs; p le poids qui servirait à comprimer l'air dans une caisse; V le volume occupé par le fluide sous la pression de l'atmosphère et D sa densité. Puisque le volume des fluides élastiques est en rapport inverse et la densité en rapport direct avec les forces comprimantes, on a les proportions

$P : P + p :: D : D'$; mais D' étant la densité qui correspond à $P + p$,

ou $D' = \frac{(P + p) D}{P.} = \frac{P + p}{P.}$, si $D = 1$; et

$P : P + p :: V' : V$; V' étant le volume qui correspond à $P + p$,

ou $$V' = \frac{P V}{(P + p)} = \frac{P}{P + p}, \text{ si } V = 1.$$

Connaissant donc P et p, il est facile d'en déduire V' et D' : pour $P = 10$ et $p = 2$, la densité de l'air comprimé par 2 kil. serait à la densité de l'air atmosphérique comme $\frac{12}{10} : 1$, et leurs volumes comme $\frac{10}{12} : 1$.

530. La densité de l'air expiré par les buses, ainsi que le volume qui est avec elle en rapport inverse, dépendent donc de la pression p. Il s'ensuit que l'air comprimé doit s'échapper par la buse avec une moindre vitesse que si, dans un même temps, avec un volume plus fort et une plus faible densité, il avait pu traverser le même orifice.

D'après la méthode suivie au paragraphe 528, on peut calculer la quantité d'air en ramenant la pression à celle de l'atmosphère; mais les résultats seront

tout autre dans la réalité : une machine soufflante dont le vent serait dû à une pression de 2 kil., et qui, d'après le calcul précédent, fournirait par seconde 1000 mesures d'air atmosphérique d'une densité = 1, ne donne réellement que 833 mesures d'une densité = 1,2 et dont la vîtesse est moins grande. Il est évident du reste que cette vîtesse doit dépendre de la densité et par conséquent aussi de la force comprimante; il en sera question par la suite.

531. Quelque utile que puisse être la détermination du volume d'air fourni par la machine soufflante, sous la pression atmosphérique, pour qu'on obtienne la dose de ce fluide nécessaire à la combustion d'une certaine quantité de charbon, il n'est pas moins indispensable de connaître le degré de compression de l'air, le volume et la vîtesse du fluide comprimé : on pourrait d'ailleurs en déduire facilement le volume et la vîtesse sous la densité atmosphérique; tandis que par la méthode précédemment indiquée, on ne peut obtenir le volume et la vîtesse de l'air condensé, à moins de connaître d'avance la force comprimante. Ajoutons que l'espace nuisible peut introduire de graves erreurs dans ces évaluations : quelle que soit la perfection de la machine, on ne peut l'éviter entièrement; le piston ne peut jamais s'appliquer tout-à-fait sur le plan fixe, il existe toujours un certain espace nécessaire au jeu des soupapes, et qui reste rempli d'air.

Soit $a\ m$ (fig. 29) la volée du piston, $m\ n$ le point le plus élevé de sa course et $d\ m\ n\ c$ l'espace nuisible qui reste rempli d'air comprimé; soit $d\ \mu$ la profondeur à laquelle le piston doit retomber, avant que cet air reprenne la densité atmosphérique Si

l'espace nuisible $d\ m\ n\ c$ n'existait pas, on aurait pour chaque coup de piston un volume d'air $a\ b\ n\ m$; mais de ce volume, il faut déduire $m\ \mu\ \nu\ n$; il ne reste donc que $a\ b\ \nu\ \mu$. Pour déterminer celui-ci, supposons que A soit la surface du piston, h et h' les hauteurs des colonnes d'eau qui feraient équilibre à P et P + p, on aura

$$d\,m : d\,\mu :: h : h'\ ^*, \text{ et } d\,\mu = d\,m\,\frac{h'}{h}$$

d'un autre côté, $m\,\mu = d\,\mu - d\,m = d\,m\,\frac{h'}{h} - d\,m$

$$= d\,m\left(\frac{h'}{h} - 1\right)$$

le volume d'air atmosphérique, chassé par la buse, n'est donc pas $A \times a\,m$, mais

$$A\,(a\,m - m\,\mu) = A\left[a\,m - d\,m\left(\frac{h'}{h} - 1\right)\right]$$

Pour connaître la quantité d'air qu'en vertu de l'espace nuisible le soufflet fournit en moins, il faut évaluer d'abord cet espace et déterminer ensuite h' par l'observation **

Plus les quantités $d\,m$ et h' sont considérables, plus l'effet de la machine soufflante est diminué. Cette ma-

---

* Puisqu'on a $P : P + p :: V' : V :: d\,m\,n\,c : d\,\mu\,\nu\,c$ et que les volumes $d\,m\,n\,c$ et $d\,\mu\,\nu\,c$ ayant même base, sont entre eux comme leurs hauteurs, on obtient $d\,m : d\,\mu :: P : P + p :: h : h'$.

Le T.

** Quel que soit cet espace, on peut toujours, lorsqu'on le connaîtra, le supposer égal à une tranche du cylindre dont l'épaisseur soit représentée par $d\,m$.

Le. T.

nière de le calculer n'est pas la plus avantageuse; l'évaluation de l'espace nuisible peut offrir des difficultés, et quelquefois même elle ne comporte pas la précision requise; devant trouver h' par l'observation, on peut en déduire facilement p (529); enfin ce calcul ne donne que le volume d'air atmosphérique. Il vaut donc mieux déterminer la vîtesse réelle par h', pour en déduire le volume d'air comprimé qui, pendant un certain temps, s'échappe par la buse, et par suite le volume et la vîtesse de l'air ramené à la densité atmosphérique. Du reste l'une de ces deux méthodes est à l'égard de l'autre, un moyen de vérification.

532. Examinons à présent la relation qui doit exister entre la pression et la vîtesse du vent : la force comprimante peut être représentée par une colonne d'eau ou de mercure, qui fasse équilibre au ressort de l'air *. On sait que cette colonne d'eau est pour l'air atmosphérique, sur la surface du globe, de $10^{m},39485$ (32 pieds), et la colonne de mercure, de 76 centim. (28 pouces): P se déduira de la grandeur de la surface soumise à la pression et de la pesanteur du liquide. Il s'ensuit donc que sur un centimètre carré, la pression de l'air est égale à une colonne d'eau de 10,39485 de hauteur et d'un centimètre carré de base, ou à une colonne de mercure de 76 cent. de hauteur.

Un centimètre cube d'eau pèse $0^{kil.},001$, ce qui fait pour la colonne de $10^{m},39485$, ou pour 1039,485 centim., $1^{kil.},039385$ qui indiquent la pression de l'air atmosphérique sur la surface d'un centimètre carré.

---

* Dans les calculs qui vont suivre, nous substituerons aux poids et aux mesures de Berlin, ainsi qu'au pied du Rhin, le kilogramme et le mètre.

Le T.

Si la pesanteur spécifique du mercure est 13,5683, un centimètre cube pesera $0^{kil.},013568$, et le poids de 76 centimètres sera de $1^{kil.},031189$; ce qui constitue dans les poids des deux colonnes, une légère différence de $0^{kil.},008196$ inévitable dans ce qui tient à ces sortes d'évaluations. Nous ferons donc $P = 1^{kil.},0312$, et c'est pour cette pression que $V = 1$ et $D = 1$ *.

La pression de l'air atmosphérique change d'un lieu à un autre : P est donc une variable et avec lui changent aussi les valeurs D et V. Il faudrait y avoir égard, si l'air était lancé dans le vide, mais, expiré par la buse, il entre dans un espace rempli d'air atmosphérique : on peut donc négliger les variations de P, D, V, et considérer ces quantités comme constantes, lorsqu'on veut calculer la pression additionnelle p, la densité et le volume de l'air comprimé, en fonctions de D et V considérés comme unités. Il est évident du reste que pour une même pression p, la densité D' de l'air sortant, doit varier avec P, parce qu'elle dépend de $P + p$.

533. Pour mesurer la pression exercée dans tous les sens par l'élasticité de l'air, on fait usage d'un instrument appelé *ventimètre* ou *anémomètre*, qui a beaucoup d'analogie avec le baromètre; il en diffère seulement en ce que dans celui-ci, la colonne de mercure doit s'élever dans le vide, tandis que dans le

* Mais pour être conséquent dans les calculs et les raisonnemens, nous devons supposer par la suite que $h = 10^m,312$ (31 p. 9°), si h doit indiquer la colonne d'eau qui ferait équilibre à la pression de l'air dont $D = 1$ et $V = 1$, et qui correspond alors à 76 centimètres de mercure dont la densité est égale à 13,5683.

Le T.

ventimètre, la colonne d'eau ou de mercure est sollicitée d'un côté par la pression de l'air comprimé, et de l'autre par celle de l'air atmosphérique.

Cet instrument se compose d'un tube à deux branches, dont l'une est mise en communication avec le régulateur ou la buse, et l'autre avec l'air extérieur. D'après les lois de l'équilibre, le liquide doit s'abaisser dans la première et remonter dans la seconde (521). Si les deux branches recourbées sont parfaitement cylindriques et d'un même diamètre, le liquide descendra au-dessous du niveau naturel, d'une quantité égale à la moitié de la hauteur de la colonne d'eau, qui correspond à la pression de l'air, et dans l'autre branche il s'élevera au-dessus de ce point d'une même quantité. Ces sortes de ventimètres seraient incontestablement les meilleurs, si l'on pouvait les confectionner avec la précision voulue, parce qu'en commençant à compter du niveau naturel marqué d'un zéro, les divisions de l'échelle indiqueraient avec une parfaite exactitude les demi-hauteurs des colonnes d'eau ou de mercure qui feraient équilibre à la pression.

Si l'on établissait un autre rapport entre les branches du ventimètre, il faudrait trouver ces hauteurs par le calcul, ce qu'on tâche d'éviter en faisant l'une des branches très-large par rapport à l'autre; cependant les hauteurs sont toujours un peu trop faibles, et le mouvement alternatif de l'eau si gênant pour l'observateur, est plus considérable dans ces sortes de tubes que dans ceux dont les deux branches sont de même largeur, puisque toutes les variations sont réduites dans ceux-ci à moitié. Mais la grande difficulté de se procurer des tubes parfaitement égaux et cylindriques, fait donner la préférence aux ventimètres composés d'un vaisseau

large mis en communication avec un tube très-étroit, sans être capillaire. Le niveau naturel se marque par un zéro, et le tube est gradué dans toute sa longueur; les divisions peuvent indiquer d'un côté les mesures linéaires des colonnes d'eau et de l'autre la pression ou le poids qui leur correspond pour une surface donnée.

Lorsque les deux branches du tube recourbé sont de même diamètre, on double le nombre des pouces ou des centimètres pour obtenir la véritable hauteur de la colonne d'eau.

534. Le ventimètre est un instrument très-simple. Les figures 30, 31 et 32 en représentent 3 espèces différentes. A (fig. 30) est un vaisseau assez large, communiquant avec un tube étroit B. Les lignes en A indiquent le mercure qui est comprimé et forcé par l'air de remonter dans le tube B : ce fluide arrive par l'orifice *a*. Les divisions se gravent sur une plaque métallique adaptée au tube; le tuyau *a* communique soit avec le régulateur, soit avec un porte-vent, soit avec une caisse d'air. Pour plus de certitude dans les résultats, on doit le rapprocher le plus près possible de la buse.

A (fig. 31) est un vaisseau hermétiquement fermé, recevant par le tuyau *a* le vent qui agit sur la surface de l'eau *b*. Un tube B pénètre dans le liquide sans descendre jusqu'au fond. Ce tube est pourvu d'une échelle qui indique en mesures linéaires, les hauteurs des colonnes d'eau correspondant aux diverses pressions.

La troisième espèce de ventimètre, la plus simple dans son usage, se compose d'un tube recourbé dont une des branches traverse un bouchon de liége qu'on enfonce dans un trou pratiqué dans le porte-vent, et dont l'autre est pourvue d'une échelle en pouces et

lignes, ou centimètres et millimètres; cette échelle, à compter du point o, niveau naturel, indique les moitiés des colonnes de mercure qui font équilibre à la pression.

535. Il est donc facile de trouver à l'aide du ventimètre la pression exercée par l'air dans tous les sens, ou ce qui revient au même, la force p qui fait équilibre à son élasticité. La hauteur de la colonne d'eau ou de mercure est donnée par l'observation; le poids absolu de la colonne dépend ensuite de l'étendue de la surface et de la pesanteur spécifique du liquide qui sert à mesurer le ressort de l'air.

Si h indique la hauteur des colonnes d'eau, h' celle du mercure et p la pression par décimètre carré, on aura le tableau suivant:

h HAUTEUR de la colonne d'eau.	h' HAUTEUR de la colonne de mercure.	p PRESSION par décimètre carré.	p PRESSION par centimètre carré.
1 décimètres.	décimètres. 0,073701	1 kilog.	0,01 kilog.
2	0,147402	2	0,02
3	0,221103	3	0,03
4	0,294804	4	0,04
5	0,368505	5	0,05
6	0,442206	6	0,06
7	0,515907	7	0,07
8	0,589608	8	0,08
9	0,663309	9	0,09
10	0, 73701	10	0,10

536. Pour déterminer par la valeur de h la vîtesse de l'air expiré, on évalue d'abord la vîtesse avec laquelle l'air atmosphérique se précipite dans le vide : la hauteur h de la colonne d'eau qui fait équilibre à la pression de l'atmosphère est dans ce cas $10^m,312$ (le baromètre marquant $76^c.$) : soit H la colonne d'air correspondant à h, Δ la densité de l'eau, δ celle de l'air atmosphérique et $\frac{\Delta}{\delta} = \frac{800}{1}$ Les hauteurs des fluides qui se font équilibre dans un tube recourbé, étant entre elles dans le rapport inverse de leurs pesanteurs spécifiques; on a

$$H : h :: \Delta : \delta, \text{ ou } H = h\frac{\Delta}{\delta}$$

ou comme $\delta = 1$, $H = h\Delta$.

Soit V la vîtesse correspondant à H, et g la force accélératrice constante égale à $9^m,808$ *, u la vîtesse relative à h, on aura

$$u = gt,$$

mais comme $h = \frac{gt^2}{2}$ ou $\frac{2h}{g} = t^2$,

on a $u^2 = g^2t^2 = 2g^2\frac{h}{g} = 2gh.$

On sait que les carrés des vîtesses sont dans le rapport des hauteurs de chute : donc $V^2 : u^2 :: H : h$ ou $V^2 : u^2 :: h\frac{\Delta}{\delta} : h$; donc $V^2 = \frac{u^2h\Delta}{h\delta}$; mais

* M. Karsten suppose la valeur de $g = 15,625$ pieds cubes du Rhin $= 4$ mèt. cub. 904 et par suite $u = 2gt$; tandis que nous prenons ordinairement pour mesurer des forces accélératrices, le rapport de la vîtesse au temps, et alors $g = 9,808$ et $u = gt$.

Le T.

$u^2 = 2gh$; donc $V^2 = 2gh\ \frac{\Delta}{\delta}$ ou $V = \sqrt{2gh\Delta}$,

Si $\delta = 1$ *.

L'air atmosphérique lancé dans le vide aurait donc une vîtesse de $402^m,27$, en supposant $h = 10^m,312$ et $\Delta = 800$.

Mais le rapport $\frac{\Delta}{\delta}$ change avec la densité du fluide élastique. Pour trouver la vîtesse avec laquelle un air comprimé s'écoule dans le vide, on doit donc faire varier h et δ. Les densités étant en rapport direct avec les forces comprimantes, on a $\delta : d :: P : P + p$, δ et P signifient la densité et la pression de l'air atmosphérique, correspondant à une colonne d'eau de $10^m,312$, ou de 76 cent. de mercure, et d la densité relative à une colonne h'' dont la pression serait $P + p$;

on a par conséquent $d = \frac{\delta\ (P + p)}{P}$

ou $$d = \frac{P + p}{P}, \text{ si } \delta = 1.$$

Pour appliquer la formule $V = \sqrt{2gh\ \frac{\Delta}{\delta}}$ à un

---

*On aurait pu simplifier ce calcul : puisqu'on a $V = gt$ ou $V^2 = g^2t^2$ et que $H = \frac{gt^2}{2}$ on a $V^2 = \frac{2g^2H}{g} = 2gH$; et comme les hauteurs des fluides sont en raison inverse de leurs densités, $H : h :: \Delta : \delta$ et $H = \frac{h\Delta}{\delta}$. Substituant cette valeur dans celle de V^2, on obtiendra $V^2 = 2gh\ \frac{\Delta}{\delta}$, $V = \sqrt{2gh\frac{\Delta}{\delta}}$.

Le T.

air comprimé, il faudra donc qu'on fasse

$$\delta = d = \frac{P + p}{P}$$

ce qui donne

$$V = \sqrt{\frac{2gh''\Delta}{\frac{P+p}{P}}} = \sqrt{2gh''\frac{\Delta P}{P+p}}\ ^*.$$

537. Si au lieu d'ouvrir au fluide comprimé un passage dans le vide, on veut le faire écouler dans un espace rempli d'air atmosphérique, la colonne h se faisant équilibre de part et d'autre, devient égale à zéro; de sorte qu'on aura

---

* Dans le reste de ce paragraphe, M. Karsten fait des calculs que jai trouvés inexacts. Il raisonne d'ailleurs dans l'hypothèse que $\sqrt{2gh''\Delta\frac{P}{P+p}}$ n'est pas entièrement égale à $\sqrt{2gh\Delta}$; et qu'en variant les valeurs h'' on peut obtenir des vîtesses différentes, ce qui est impossible; car en substituant au rapport des pressions celui des colonnes d'eau $\frac{h}{h+x}$, x représantant la hauteur de la colonne d'eau dont la pression est égale à p, on aura

$$V' = \sqrt{2gh''\Delta\frac{h}{h+x}}$$

et comme $h'' = h + x$, cette équation sera réduite encore à $V' = \sqrt{2gh\Delta}$. Quelle que soit donc la pression qu'on veuille ajouter à celle de l'atmosphère, le fluide comprimé se précipitera dans le vide avec la vîtesse de l'air dont la densité est égale à 1. Mais les densités sont en rapport direct avec les pressions, de sorte que si la pression devient m fois plus forte, il passera dans le même temps et avec la même vîtesse, m fois plus d'air par le même orifice. Si l'on voulait avoir le volume sous la densité atmosphérique, il faudrait multiplier V' par $\frac{h+x}{h}$ et le produit par l'aire de l'orifice d'écoulement. Le T.

$h'' = 0 + x = x$; et $\frac{\Delta}{\delta}$ reste toujours égal à $\frac{800}{\frac{P+p}{P}} = \frac{800P}{P+p}$; p étant la pression d'une colonne d'eau dont la hauteur est égale à x. L'équation

$$V = \sqrt{2gh''\frac{\Delta P}{P+p}}$$

deviendra donc

$$V = \sqrt{2gx\Delta\frac{P}{P+p}},$$

x désignant la hauteur de la colonne d'eau qui fait équilibre à la pression additionnelle, indépendante de celle de l'atmosphère. Pour $h = 10^{m},312$, $x = 0$ et $p = 0$ et $\frac{P}{P+p} = \frac{P}{P} = 1$; pour $h = 12^{m},312$, $x = 2^{m}$, $\frac{P}{P+p} = \frac{10^{m},312}{10^{m},312+2} = \frac{10^{m},312}{12^{m},312} = 0,83$. Il est inutile de rappeler que les pressions $P = 1^{kil.},0312$ (532), et $p = 0^{kil.},2$ pour $x = 2$ mètres (535), substituées dans l'expression $\frac{P}{P+p}$ donneront, comme les hauteurs des colonnes, la fraction $\frac{1,0312}{1,0312+0,2}$ $= 0,83$.

La quantité P n'est pas constante, elle change avec les lieux et les variations de l'atmosphère : il faut donc dans chaque cas particulier, la déterminer par la hauteur du baromètre.

538. Si, d'après la méthode indiquée au paragraphe 528, on avait trouvé la vitesse de l'air expiré,

il faudrait la diviser par la densité $\frac{P+p}{P}$ pour avoir la vîtesse réelle donnée par la formule

$$V=\sqrt{2gx\Delta\frac{P}{P+p}}$$

et réciproquement, V étant connu, il faudrait le multiplier par cette quantité, pour avoir la vîtesse de l'air ramené à la densité de l'atmosphère.

Pour $x=2^{m},50$,

$$V=\sqrt{2gx\frac{\Delta P}{P+p}}=177^{m},$$

c'est la vîtesse de l'air comprimé; sa densité est alors

$$\frac{P+p}{P}=\frac{h+x}{h}=\frac{12^{m},812}{10^{m},312}=1,242$$

et c'est par ce nombre qu'il faudrait multiplier 177^{m} pour avoir la vîtesse qui conviendrait à un air expulsé avec une densité atmosphérique, et qui dans ce cas, serait égal à $210^{m}5792$ par seconde.

539. Connaissant la vîtesse de l'air comprimé, il est facile d'en déduire son volume : si a représente l'ouverture de la buse et Q le volume, on a pour chaque seconde $Q=av$. Dans le tableau suivant x est la hauteur de l'eau indiquée par le ventimètre et exprimée en pieds du Rhin (c'est à l'aide de cette hauteur qu'on peut calculer aussi la résistance opposée à la force motrice); d la densité qui correspond à x, celle de l'air atmosphérique étant $=1$; r le rapport des volumes; celui dont la densité $=1$ étant pris pour unité; v la vîtesse du vent; av le volume d'air comprimé qui s'échappe, à chaque seconde, par la buse, dont l'ouverture est égale à 1 pouce carré du Rhin; v' la vîtesse avec laquelle la même quantité serait expulsée, si elle conservait

la densité de l'atmosphère et av' le volume d'air fourni par seconde sous la densité = 1, celle de l'eau étant 800.

x.	d.	r.	v. Pieds.	$a.v$. pieds cub.	v'. Pieds.	$a.v'$. Pieds cub.
pied. pouc. 1 — 6	1,047	0,955	268	$1,\frac{1488}{1728}$	280	$1,\frac{1632}{1728}$
2 — 0	1,062	0,941	306	$2,\frac{126}{1728}$	324	$2,\frac{392}{1728}$
2 — 6	1,078	0,928	340	$2,\frac{624}{1728}$	366	$2,\frac{936}{1728}$
3 — 0	1,094	0,914	370	$2,\frac{984}{1728}$	404	$2,\frac{1392}{1728}$
3 — 6	1,109	0,901	396	$2,\frac{1296}{1728}$	438	$3,\frac{72}{1726}$
4 — 0	1,125	0,888	420	$2,\frac{1584}{1728}$	472	$3,\frac{480}{1728}$
4 — 6	1, 14	0,877	444	$3,\frac{144}{1728}$	506	$3,\frac{878}{1728}$
5 — 0	1,156	0,865	464	$3,\frac{384}{1728}$	536	$3,\frac{1248}{172}$
6 — 0	1,188	0,842	302	$3,\frac{840}{1728}$	596	$4,\frac{240}{1728}$
7 — 0	1,219	0, 82	534	$3,\frac{1224}{1728}$	650	$4,\frac{880}{1728}$
8 — 0	1, 25	0, 80	566	$3,\frac{1608}{1728}$	706	$4,\frac{1560}{1728}$*

On a calculé les valeurs d, r, v, etc., en prenant la densité de l'air atmosphérique pour unité : elles doivent donc varier avec la situation de l'atmosphère. Pour donner une grande rigueur à ces sortes de calculs, il faudrait donc avoir égard non-seulement à la hauteur du baromètre et à celle du thermomètre, mais aussi à l'état hygrométique de l'air. Il est possible

* Nous n'avons fait aucun changement à ce tableau parce qu'il peut servir sous cette forme à une partie de nos lecteurs; mais nous en avons calculé un autre dans le système métrique. Nous avons supposé que les pressions additionnelles ou factices augmentent chaque fois de 20 cent.; que celle de l'air atmosphérique fait équilibre à 76 cent. de mercure ou à $10^{m},312$ d'eau, la pesanteur

aussi que l'électricité exerce une certaine influence sur la nature de ce fluide considéré comme soutien de la combustion; mais nous n'avons aucune donnée à cet égard.

spécifique du métal étant supposée de 13,5683 (532); enfin, que l'ouverture de la tuyère est de 11 cent. carrés; nous avons aussi augmenté ce tableau d'une colonne x' pour indiquer les hauteurs du mercure qui correspondent à celles de l'eau.

TABLEAU des vitesses du vent et des quantités d'air fournies par seconde, pour une buse, dont l'aire de l'orifice est égale à 11 centim. carrés.

x. Hauteurs des colonnes d'eau.	x'. Hauteurs du mercure.	d. Densités.	r. Rapports des volumes.	v. Vitesses de l'air comprimé.	av. Mètres cubes d'air comprimé.	v'. Vitesses de l'air dont la densité = 1.	$a'v'$. Mètres cubes d'air dont la densité = 1.
m. 0,40	0,0295	1,039	0,963	77,748	m. 0,0855	80,8	0,0888
0,60	0,0442	1,058	0,945	94,328	0,1038	99,8	0,1098
0,80	0,0591	1,078	0,928	107,936	0,1187	116,4	0,1280
1,00	0,0737	1,097	0,912	119,632	0,1316	131,2	0,1444
1,20	0,0884	1,116	0,896	129,895	0,1429	144,9	0,1594
1,40	0,1032	1,136	0,880	139,045	0,1529	158,01	0,1738
1,60	0,1179	1,155	0,866	147,458	0,1622	170,3	0,1873
1,80	0,1327	1,174	0,851	155,042	0,1705	182,0	0,2002
2,00	0,1474	1,194	0,838	162,176	0,1784	193,6	0,2130
2,20	0,1621	1,213	0,824	168,665	0,1855	204,6	0,2252
2,60	0,1916	1,253	0,799	180,555	0,1986	226,1	0,2487

Si dans l'équation $v = \sqrt{2gx\Delta \frac{P}{P+p}}$ qui nous a servi pour faire les calculs dont nous avons donné les résultats, on substitue pour le rapport des pressions $\frac{P}{P+p}$ celui des hauteurs

On ne pourrait apprécier l'effet des soufflets, à moins d'apporter dans les calculs, les corrections nécessitées par la pression et la température de l'air atmosphérique. Une machine soufflante, pour la même pression indiquée par le ventimètre et la même ouverture de buse, produira d'autant plus d'effet que l'air atmosphérique aura une plus grande densité ou un moindre volume *. On doit donc, partant d'un point fixe, augmenter ou diminuer l'action des soufflets, selon les variations de l'atmosphère, s'ils doivent donner constamment la même quantité d'air.

Pour connaître l'influence que ces variations exercent sur l'effet de la machine soufflante, on prend pour unité le volume et la densité de l'air à 76 cent. de mercure, à 0 degré de Réaumur et à 0 degré de l'hygromètre; il ne s'agit plus alors que d'examiner les changemens que l'air doit éprouver dans son volume

---

des colonnes d'eau $\frac{h}{h+x}$ on aura

$$v = \sqrt{2gx\Delta \frac{h}{h+x}} = \sqrt{2gh\Delta} + \sqrt{\frac{x}{h+x}}.$$

C'est sous cette forme qu'on la trouve dans la sidérotechnie de M. Hassenfratz; mais il est bien évident que $\sqrt{2gh\Delta}$ n'est pas une constante; elle ne l'est que pour celui qui veut calculer un tableau, en faisant varier x seulement; car elle change avec les hauteurs barométriques, et c'est précisément à cause de ces variations du baromètre, que l'auteur précité blâme l'usage de ces tableaux.

Le T.

* Parce que le ventimètre ne peut indiquer la pression réelle du vent, mais seulement la différence de pression entre l'air extérieur et l'air intérieur.

Le T.

pour les différentes hauteurs du baromètre, du thermomètre et de l'hygromètre.

Le volume étant en rapport inverse avec la force comprimante, il est facile de faire les rectifications qui sont relatives au baromètre, dont la hauteur indique cette force immédiatement. Si cette hauteur est de 73 cent. au lieu de 76, le volume s'obtiendra par la proportion 73 : 76 :: 1 : x = 1,041, c'est-à-dire que 1000 mesures d'air atmosphérique d'une densité = 1 sont équivalentes à 1041 d'une densité $= \frac{1000}{1041} = 0{,}970$.

Il s'ensuit que la hauteur du baromètre doit fortement influer sur l'effet des machines soufflantes qui, par minute, donnent 103 à 137 mètres cubes (3 ou 4 mille pieds cubes) d'air atmosphérique. Dans un lieu très-élevé, où la hauteur moyenne du baromètre serait de 54c., il faudrait 140 mesures d'air pour remplacer 100 mesures d'nne densité = 1. Si donc on avait deux machines soufflantes parfaitement égales, l'une construite en ce lieu et l'autre sur un point où la hauteur moyenne du baromètre serait de 76 cent., les effets de ces machines égales sous tous les rapports, seraient pourtant entr'eux dans le rapport de 10 à 14. La quantité d'air trouvée par le calcul, doit toujours être ramenée à la densité = 1, afin qu'on ne se trompe pas sur l'effet que produisent les machines soufflantes.

L'élasticité des gaz, due probablement au calorique, s'accroît par une augmentation de chaleur. Pour une pression constante, le volume de l'air doit diminuer avec la température, ou, ce qui revient au même, un surcroît de densité doit remplacer une partie de la force élastique. Il s'ensuit que pour une même pression, la masse d'air fournie par une machine soufflante doit augmenter à mesure que la température diminue.

Toutes choses égales d'ailleurs, les soufflets produisent bien moins d'effet pendant la chaleur de l'été que pendant l'hiver.

Plusieurs physiciens se sont occupés de recherches sur la dilatation de l'air atmosphérique ; il résulte des expériences de M. G. G. Schmidt, que si le volume à 0 degré = 1, la dilatation pour chaque degré de Réaumur est égale à 0,0044675. L'expression du volume sera donc $1 \pm n \times 0{,}0044675$, et celle de la densité $\frac{1}{1 \pm n \times 0{,}0044675.}$ n désigne les degrés de Réaumur au-dessus ou au-dessous de zéro. Pour réduire à la densité = 1 le volume d'air trouvé par le calcul, il faut donc le multiplier par

$$\frac{1}{1 \pm n . 0{,}0044675.}$$

Une machine soufflante qui fournirait par minute 65 mètres cubes d'air, à la température de 20°. du thermomètre, n'en donnerait réellement que $\frac{65}{1 + 20 \times 0{,}0044675.} = 59{,}668$ * du degré de température = 0, tandis que par un froid de 12° au-dessous de zéro, 65 mètres cubes en valent $\frac{65}{1 - 12 + 0{,}0044675.}$ = 68,682 cubes. Il résulte de cet exemple, que la température doit produire de fortes modifications dans l'effet des machines soufflantes. Il n'est point rare d'avoir des chaleurs de 20° et des froids de 12. Les variations dans la quantité d'air fournie par des soufflets qui peuvent en donner 65 mètres cubes par minute,

* Ce qui est à peu près un dixième en moins.

seraient donc, d'un de ces points à l'autre, de 9,014 mètres cubes *. On devrait donc, si la chose était possible, renforcer le mouvement des pistons en été, puisque le vent doit exercer une action constante sur les combustibles. **

Les variations dans la température et dans la hauteur du baromètre sont peu sensibles, si les soufflets sont petits et si les charbons brûlent avec facilité; mais elles produisent quelquefois les effets les plus surprenans dans les hauts fourneaux alimentés avec du coke compacte et activés par de fortes machines soufflantes.

Enfin, il faudrait examiner encore quelle est l'influence de l'humidité de l'air sur sa densité; mais ne connaissant pas l'état dans lequel se trouvent les vapeurs aqueuses qui agissent sur l'hygromètre, nous ne pouvons rien statuer sur cette question. M. Schmidt a dirigé aussi vers cet objet, de nombreuses recherches; mais il ne résulte point de loi constante de ses expériences; elles paraissent néanmoins prouver que pour les températures ordinaires jusqu'à 30° au plus, l'air humide n'occupe pas beaucoup plus de volume que l'air sec; que d'ailleurs, la dilatation va en augmentant avec les degrés d'humidité. Voici une table calculée par M. Schmidt :

---

* Près d'un septième de la masse totale.

** Il est évident que les calculs qui précèdent s'appliquent tout aussi bien aux trompes qu'aux autres soufflets. Au reste, on peut consulter sur l'effet produit et la force dépensée par les trompes, ainsi que sur les dimensions de ces machines, les expériences de MM. Thibaud et Tardy, Annales des mines, tom. 8, pag. 595.

DEGRÉS du thermomèt. de RÉAUMUR.	DEGRÉS DE L'HYGROMÈTRE CENTIGRADE.						Observations.
	10° volumes.	20° volumes.	40° volumes.	60° volumes.	80° volumes.	100° volumes.	
0	1,00000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	La masse d'air est constante.
5	1, 0225607	1,0227839	1,0232303	1,0236767	1,0241231	1,0245696	
10	1, 0453911	1,0461072	1,0475394	1,0489716	1,0504038	1, 051836	
15	1, 0683482	1,0696839	1,0723553	1,0750267	1,0776981	1,0803695	
20	1, 0915171	1,0938843	1,0994186	1,1029529	1,1074872	1,1120215	
25	1, 1152503	1,1188132	1,1259389	1,1330646	1,1401903	1,1473161	
30	1, 1392964	1,1445678	1,1551127	1,1656536	1,1761964	1,1867393	

Il suffira, dans le plus grand nombre de cas, de faire les rectifications relatives à la température et à la hauteur du baromètre. Pour ce qui est de l'humidité, nous devons attendre qu'on ait trouvé pour cet objet, une règle certaine. Lorsqu'il s'agit donc de communiquer au fourneau des quantités égales de vent, toute la force motrice ne doit pas être employée durant l'hiver; c'est pendant l'été que les coups de piston ou de volant doivent se succéder avec le plus de rapidité.

540. La vîtesse du vent doit être réglée d'après la nature du combustible: supposons qu'elle soit connue pour chaque espèce de charbon, alors la quantité de ce combustible qui, dans un temps donné, brûle avec la rapidité convenable, ne dépend plus que du volume d'air lancé dans le fourneau; et en augmentant ce volume, on doit augmenter aussi la masse des produits.

540. Selon les expériences d'Allen et Pepys, il faut 251,63 parties d'oxigène pour brûler 100 parties pondérées de charbon et le transformer en gaz acide carbonique. Il paraîtrait d'après cela, que le volume d'air nécessaire pour brûler dans un temps fixe, une certaine quantité de charbon, et la force que devrait avoir la machine soufflante, peuvent se déterminer avec une grande facilité; mais ces sortes de calculs laissent encore beaucoup de vague et d'incertitude dans les résultats: 1°. parce qu'on suppose que tout le charbon est converti en acide carbonique et non en gaz oxide de cardone; ce qui paraît assez vraisemblable, quoique rien ne le prouve; 2°. parce qu'on ne fait pas entrer en considération la dose si variable de l'oxigène contenu dans les minérais, bien qu'elle serve à brûler une partie du charbon.

Les résultats fournis par le calcul seraient donc trop forts ; il faudrait en soustraire une assez grande quantité d'air, si d'un côté, l'espace nuisible, et de l'autre, le vent perdu qui, dans les caisses en bois, s'échappe par les joints et les conduits et dont une partie même reflue de la tuyère au dehors, ne diminuaient pas la masse d'air qui devrait entrer dans le fourneau. Ces défectuosités inhérentes à tous les soufflets, compensent à un certain point les erreurs attachées à la manière d'opérer. Il s'ensuit que la machine soufflante ne sera pas trop grande, si elle reçoit les dimensions données par le calcul.

Il faudrait aussi faire une déduction relativement aux cendres contenues dans les charbons; mais on doit négliger également cette considération, parce qu'il vaut mieux rendre la machine un peu trop puissante que de tomber dans le défaut opposé.

541. Dans le deuxième volume de la sidérotechnie, page 45, M. Hassenfratz établit, d'après les expériences de MM. Biot, Arago et Tomson, que * :

100 pouces cubes (1^{litre},9621) d'air atmosphérique pèsent . . . . $2^{\text{grammes.}}$,4428

100 pouces cubes d'oxigène pèsent. . 2,6918.

Il s'ensuit qu'un litre d'air atmosphérique pèse. . . . . 1,2315.

et qu'un litre d'oxigène pèse. . . . . 1,3570.

D'après ce qui a été dit (540), $100^{\text{kil.}}$ de charbon

---

* M. Hassenfratz donne les résultats des expériences de MM. Biot, Arago, Thomson et Thénard en note; mais les poids relatés ici sont de Lavoisier.

M. Karsten transforme ces données en poids et en mesures de Prusse ; au lieu de le suivre dans ces opérations, nous réduisons les 100 pouces cubes en décimètres cubes. Le T.

exigent pour brûler 251$^{kil.}$63 d'oxigène, ce qui fait 18543^{litres} d'oxigène ou 842$^{mèt. cub.}$,868 d'air atmosphérique; en supposant que ce dernier contienne 22 pour cent d'oxigène *, ces 842$^{mèt. cub.}$,868 peseront 1037$^{kil.}$,95.

Un mètre cube de charbon de pin silvestre pèse, terme moyen. . . . . 156$^{kil.}$8303.

Et un mètre cube de coke. . . . 480,3406.

Il sera donc facile de déterminer la quantité d'air atmosphérique nécessaire à la combustion, lorsqu'on saura la quantité de charbon qui doit être consommée.

Prenons pour exemple deux hauts fourneaux alimentés l'un avec du charbon de pin et l'autre avec du coke, et produisant par semaine chacun 16396$^{kil.}$ de fonte (350 quintaux de Berlin).

La quantité de charbon ou de coke brûlée pour cent de fonte, ne peut être connue que par l'expérience, parce qu'elle varie avec la nature des minérais. Dans la Haute-Silésie, on traite un minérai brunissant et ocreux, qui donne à peu près 25 pour cent de fer cru. Par quintal métrique de fonte, on consume ordinairement 1104^{litres},83 de charbon de pin, ou 11^{litres},0483 par kilog. La consommation par semaine pour les 16396$^{kil.}$ de fonte s'éleverait donc à 181^{litres},148 ou 181$^{mèt. cub.}$,148 de charbon, ce qui fait par minute 17^{litres},97103 pesant 2$^{kil.}$,81839 et demandant pour être brûlés 23$^{mèt. cub.}$,755 ou 29$^{kil.}$,2538 d'air atmosphérique. Un semblable fourneau, pour produire 16396 kilog. de fonte par semaine, doit donc

---

* C'est pour nous trouver d'accord avec M. Karsten, dans le résultat final, que nous avons supposé que l'air contenait 22 pour cent d'oxigène, quoique, d'après l'opinion le plus généralement reçue, il n'en contienne que 21 pour cent.

Le T.

recevoir par jour 42154 kilog. ou par minute 23755 litres d'air ; résultat qui est assez d'accord avec ce qui se passe dans la réalité *.

Un fourneau alimenté avec du charbon de houille et qui, en fondant des minérais de Tarnowiz, doit produire par semaine 16396 kilog. de fonte, consomme dans ce temps (à raison de $0^{\text{mèt. cub.}}$,61995 de coke pour 100 kilog. de fer cru) $101^{\text{mèt. cub.}}$,650 de coke ou 10^{litres},084 par minute, pesant terme moyen, $4^{\text{kil.}}$,8437 **.

Ces $4^{\text{kil.}}$,8437 de coke demandent pour être brûlés 8982 litres, $8^{\text{mèt. cub.}}$,982 d'oxigène ou $40^{\text{mèt. cub}}$,826 d'air atmosphérique du poids de $50^{\text{kil.}}$,27721. La consommation de ce fluide s'élève donc par jour à 72340 kilog., données qui sont assez conformes à la quantité d'air que reçoit effectivement le fourneau dont il s'agit.

Il est évident que ce calcul ne présente qu'un moyen approximatif de trouver la vérité ; on ne peut y ajouter une grande confiance, d'autant plus qu'on n'a pas encore pénétré tous les secrets de la combustion et qu'on ignore si l'azote n'y joue pas quelque rôle secondaire.

---

* Ces nombres convertis en livres de Berlin et en pieds cubes du Rhin, deviennent les mêmes que ceux de l'original.

Le T.

** Ce nombre diffère un peu de celui de M. Karsten ; il y a dans son terme moyen une légère erreur en sus ; de sorte que sa consommation d'air par minute s'élève à 50_k,865, au lieu d'être de 50,277. Passant ensuite à la consommation par jour, il commet une faute de calcul plus forte : son résultat final est de 66521 kil.

Le T.

FIN DU PREMIER VOLUME.

MÉMOIRE

SUR

LA COMBINAISON DU FER AVEC LE CARBONE,

LU A L'ACADÉMIE ROYALE DE PRUSSE, LE 17 AVRIL 1823,

PAR

C. J. B. KARSTEN,

DOCTEUR DE PHILOSOPHIE, CONSEILLER SUPÉRIEUR DES MINES DU ROYAUME DE PRUSSE, CHEVALIER DE LA CROIX DE FER, MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES ET DE PLUSIEURS SOCIÉTÉS SAVANTES.

Berlin, imprimerie de l'académie royale des sciences. 1823.

SUR LA COMBINAISON

DU FER AVEC LE CARBONE.

§. 1. La connaissance du fer est aussi ancienne que l'histoire des peuples. La différence même du fer à l'acier n'était pas ignorée des Egyptiens, il y a 3500 ans ; mais les premières traces de l'emploi de la fonte, ne se trouvent qu'à la fin du quinzième siècle. Son usage se répandit de l'Alsace dans les Pays-Bas, en Angleterre et en Suède, et presqu'en même temps aussi dans toute l'Allemagne septentrionale et méridionale.

Il est surprenant que la fonte ait été connue si tard, puisque le fer fut fabriqué chez tous les peuples, même dans les temps les plus reculés. On ne peut s'en rendre compte que par les procédés que les anciens suivaient généralement pour réduire le minérai : ils ne pratiquaient que des méthodes au moyen desquelles il était impossible de parvenir à un produit qui eût subi la fusion. L'histoire n'a pas conservé le nom de celui qui le premier a remarqué que le fer peut s'obtenir aussi à l'état liquide ; découverte qui a servi de base à un emploi tout nouveau qu'il a reçu depuis dans les arts et dans la vie domestique.

2. Depuis que la fonte est connue, on a rangé le fer en trois classes, selon ses trois états métalliques différens, et l'on est parvenu bientôt à le faire passer d'un état à un autre. Ces trois classes sont désignées

sous les noms de fer ductile, d'acier et de fer cru. On a même adopté la désignation de fer malléable et de fer non malléable, et l'on distingue ensuite le fer malléable qui conserve toutes ses propriétés après un refroidissement subit, de celui qui perd une partie de sa malléabilité et de sa mollesse en passant rapidement de la chaleur lumineuse à une basse température; mais la transition du fer ductile à l'acier, est tellement insensible, qu'on ne peut assigner avec certitude la limite qui existe entre le fer le plus dur et l'acier le plus mou. Il est encore plus difficile d'établir une limite entre le fer qui est malléable et celui qui ne jouit pas de cette propriété; il existe beaucoup d'aciers qu'on pourrait appeler fonte, et l'on rencontre différentes fontes qui pourraient porter le nom d'acier.

Ce n'est souvent qu'à l'aide d'une longue habitude qu'on parvient à distinguer la fonte de l'acier, par l'inspection de la cassure; tandis que la différence qui existe entre l'acier trempé et l'acier non trempé, est extrêmement frappante. Le changement de couleur seul qui suit toujours la trempe, suffirait déjà pour faire présumer que le métal éprouve par cette opération une révolution chimique. Ce changement est encore bien plus marqué dans le fer cru. La fonte grise ou douce, a si peu de ressemblance avec la fonte blanche et dure, qu'on est d'abord disposé à les regarder comme deux métaux différens, et il ne faut pourtant qu'un subit abaissement de température, pour faire naître une si grande différence. Nous verrons bientôt que le fer mou forme une série qui, de la fonte grise, passe par tous les degrés de la fonte douce, de l'acier et du fer pur; tandis que la fonte blanche, l'acier trempé et le fer qui est devenu plus dur par la trempe,

constituent une deuxième série qui diffère essentiellement de la première par le mode de combinaison du carbone avec le fer *.

3. Quelque différentes qu'aient été de tous les temps les opinions des métallurgistes sur la fonte, le fer et l'acier, et sur la cause de leur formation, ils se sont toujours accordés à les regarder comme des modifications du même métal; mais la nature de ces modifications ne pouvait être déterminée que par des connaissances chimiques. Il ne faut donc pas s'étonner qu'on ait reçu si tard, des lumières sur cet objet. Il s'est écoulé à peine 40 ans, depuis que Schéele, Bergman et Rinman nous ont donné par leur analyse, les premiers renseignemens sur la nature de la fonte, du fer et de l'acier. Les résultats qu'ils annoncèrent, furent pleinement confirmés par les expériences des chimistes français, anglais et allemands. La présence de l'oxigène qu'on a supposée plus tard dans la fonte blanche, devait compléter la théorie des savans suédois; mais cette hypothèse établie sur des raisons très-faibles, a été reconnue bientôt comme erronée.

La cause de la différence qui existe entre la fonte, le fer et l'acier, ne pouvait être attribuée qu'au carbone; la fonte en contient plus que l'acier, et celui-ci, plus que le fer forgé. Les essais les plus simples et l'expérience journalière qu'on est à même de faire dans les usines, écartent toute espèce de doute sur

---

* On verra aussi par la suite de ce mémoire, que la fonte grise est la seule des diverses espèces de fer, qui contienne du graphite ou du carbone pur, à l'état de mélange, et qu'elle forme pour cette raison une classe à part.

Le T.

la vérité de cette assertion. Mushet qui a cherché à déterminer la quantité de carbone contenue dans les différentes espèces de fer, conclut de ses expériences que l'acier le plus doux renferme à peu près 0,8, l'acier ordinaire 1, l'acier plus dur 1,1, l'acier trop dur 2, la fonte blanche 4, la fonte grise 5, et la fonte très-grise ou noire 6,7 pour 100, de matière charbonneuse.

On pense assez généralement que la différence de la fonte blanche à la fonte grise doit être attribuée seulement à la quantité de carbone contenue dans ces deux espèces de fer cru. Le métallurgiste praticien habitué à regarder la fonte blanche comme peu riche en carbone, s'est empressé d'adopter cette opinion.

4. Nous avons montré dejà depuis plusieurs années, que ce n'est pas au moyen du carbone seul qu'on peut expliquer la différence d'une espèce de fer cru à l'autre; mais que le point essentiel est le mode de combinaison du carbone avec le fer. Nous avons aussi prouvé que la fonte blanche ne contient pas une plus petite quantité de carbone que la grise. De nouvelles expériences faites depuis cette époque ont confirmé la vérité de ces principes; mais elles nous ont appris aussi qu'ils devaient recevoir une rectification essentielle, sur-tout pour ce qui regarde la composition de la fonte grise et celle de l'acier non trempé.

Les combinaisons du fer avec le carbone ont été un sujet d'étude pour les chimistes modernes. Si leurs recherches ne les ont pas conduits à des résultats certains, il ne faut l'attribuer qu'à la grande difficulté qu'on éprouve quand on veut déterminer la dose de carbone avec exactitude; parce qu'une partie de ce combustible s'échappe à l'état de gaz pendant la dissolution du fer dans les acides, et qu'une autre forme

des combinaisons toutes nouvelles et inconnues : tantôt elle entre dans la composition d'une huile oléifiante, tantôt elle forme une poussière brune rougeâtre que M. Berzelius compare avec raison à l'extractif, tel qu'on le retire de *l'humus* ou des terres mélangées de débris animaux et végétaux. Mais ce n'est pas encore la plus grande difficulté qui se présente dans l'analyse des fers carburés ; il en est une autre qui enveloppe ces recherches de plus d'obscurité : les divers composés de fer et de carbone, dont les proportions sont définies et qui se trouvent dissous dans la masse du fer, ne peuvent s'obtenir parfaitement purs, puisqu'au moment même où ils se séparent du métal, ils éprouvent déjà une décomposition.

5. Pour juger de la nature de la combinaison du fer et du carbone, on doit non-seulement déterminer les proportions des élémens, mais il est essentiel aussi d'indiquer l'état du carbone contenu dans le métal.

Les difficultés d'analyse que nous venons de faire entrevoir, nous forcent par conséquent de rassembler et de comparer entr'eux tous les phénomènes que présente le fer dans ses divers états métalliques, pendant les chaudes, le refroidissement, la fusion, la dissolution dans les acides ou les décompositions opérées d'une autre manière. Nous croyons donc qu'il est très-important de présenter ici l'ensemble des faits qui, dans le travail du fer, peuvent jeter quelques lumières sur la nature de sa composition, d'autant plus qu'une partie de ces faits ont échappé souvent à l'attention des chimistes.

I. *Des phénomènes que présente le fer pendant les chaudes.*

6. *Le fer ductile* chauffé au rouge, avec ou sans le contact du charbon, conserve ses propriétés après le refroidissement; mais exposé à la chaleur blanche, au milieu des charbons, il ne reste mou que dans le cas où il se refroidit avec lenteur; plongé à l'état d'incandescence dans l'eau, ou refroidi subitement d'une autre façon, il acquiert plus ou moins de dureté, selon la durée et l'intensité de la chaude.

7. Le fer le plus doux et le plus tenace devient cassant et semble avoir perdu sa force de cohésion, lorsqu'il a été soumis long-temps, au milieu du charbon, à la chaleur blanche; mais il reprend sa ténacité par des chaudes données dans un feu ouvert et par le corroyage. Refroidi lentement, il reste doux; mais chauffé de nouveau et soumis à un refroidissement subit, il devient dur et aigre. On sait que ce fer reçoit le nom *d'acier de cémentation*. Le passage de l'état doux à l'état dur est toujours accompagné d'un changement dans la couleur, et même d'un changement de texture, si la chaude qui précède la trempe a été poussée jusqu'à la chaleur blanche.

L'acier de cémentation qui a subi la trempe, diffère de celui qui a été refroidi lentement, par la couleur qui s'éclaircit. La texture du premier, s'il a été chauffé jusqu'au blanc, est en grains blancs et brillans; son aigreur est alors si prononcée, qu'il se laisse piler et réduire en poudre; dans cet état, il a perdu aussi une partie de sa soudabilité.

L'acier de cémentation perd d'autant plus de la propriété de se durcir par la trempe, qu'il est chauffé

un plus grand nombre de fois dans un feu ouvert. L'acier naturel, préparé avec la fonte, peut subir cette épreuve plus long-temps, mais l'acier fondu les surpasse tous les deux sous ce rapport.

8. *L'acier fondu*, obtenu dans des vaisseaux clos, soit avec l'acier de cémentation, soit avec l'acier de fusion, est toujours moins soudable et devient plus dur par la trempe, que l'acier qui a servi à le préparer, lors même que l'acier fondu est chauffé à un moindre degré de chaleur que l'autre. L'acier de cémentation, qui se laisse souder assez bien avec lui-même, et qu'on peut tremper à un degré de chaleur rouge clair, perd, s'il est refondu, la soudabilité presque en entier, et acquiert, trempé à la température rouge brun seulement, un haut degré de dureté. Si on le trempait ensuite comme avant la fusion, il se comporterait de la même manière que l'acier de cémentation qui aurait été trempé à une trop haute température, c'est-à-dire qu'il deviendrait cassant, qu'il prendrait un gros grain et une couleur blanche.

9. L'acier trempé qu'on chauffe dans un feu ouvert, ou même dans la poussière de charbon, devient doux lorsqu'il se refroidit lentement; sa couleur qui était blanche passe au gris, et sa texture, s'il a été trempé à une chaleur trop intense, devient, par la chaude, plus fine et plus compacte.

10. Le fer ductile qui reste exposé trop long-temps à une forte chaleur blanche et à l'influence du charbon, finit par se fondre et par se changer en fonte grise. Le produit conserve encore la mollesse, mais il est peu malléable et ne se laisse pas souder. Le fer cru obtenu de cette façon ne diffère en rien de la fonte grise qu'on retire des minérais.

11. Lorsqu'on grille la fonte blanche, aigre et lamelleuse au contact de l'air, pendant un temps assez prolongé, elle prend une couleur plus sombre et une texture grenue, devient douce, malléable et ressemble alors à la fonte grise. Le même effet se produit d'une manière plus ou moins prononcée, quand on empêche l'accès de l'air en entier ou en partie, au moyen d'une couche de cendre d'os, d'argile, de sable quartzeux, de craie, de cendres végétales et même de plombagine ou de charbon. La formation de l'oxide dont la surface du fer cru se couvre, accélère ce changement. Si l'on plonge dans l'eau, la fonte traitée de cette manière, lorsqu'elle est encore rouge de feu, on fait reparaître sa dureté, et sa texture redevient ou compacte ou grenue, brillante et d'une couleur blanche.

12. La fonte douce et grise, n'éprouve de changement par un grillage prolongé, que lorsqu'elle n'est pas garantie du contact de l'air, et qu'elle peut se couvrir d'une épaisse couche d'oxide. Sa couleur s'éclaircit alors, sa malléabilité s'accroît, mais sa mollesse n'en est pas changée sensiblement : préservée du contact de l'air pendant la chaude, elle prend une plus grosse grainure, devient plus cassante, perd de sa malléabilité et même de sa mollesse. Si l'on chauffe la fonte grise jusqu'au blanc, et qu'on la plonge dans l'eau, elle reçoit une couleur plus claire, devient plus dure et moins malléable. Ces changemens sont moins prononcés dans les fontes qui proviennent de fourneaux à coke.

13. En réunissant ces faits, on voit déja qu'une couleur foncée jointe à un certain degré de mollesse et de malléabilité qui en est la suite, n'indique pas précisément une grande quantité de carbone contenue

dans le fer cru ; de même qu'une couleur claire, jointe à une grande dureté, ne peut être attribuée à l'absence de ce corps : mais on peut conclure de ces faits, qu'il se passe souvent un changement dans la combinaison du fer avec le carbone, et que ce dernier tend à se séparer du métal, lorsque le refroidissement n'est pas instantané. La mobilité de cette substance dans la masse du fer, ne doit pas être plus surprenante que sa combinaison avec le métal exposé seulement à la chaleur blanche. Dans ces opérations, il se forme un composé de deux corps dont aucun ne se trouve à l'état liquide, dont l'un est très-difficile à fondre, et dont l'autre est peut-être entièrement infusible.

II. *Des phénomènes qui se passent pendant la fusion.*

14. *L'acier de cémentation* fondu dans des vaisseaux clos, avec ou sans flux, et refroidi très-lentement dans le creuset même, devient beaucoup plus doux qu'il ne l'était avant la fusion et prend une couleur plus sombre, tirant sur le gris bleuâtre. La couleur grise est d'autant plus prononcée, que l'acier employé est plus dur, ou que le fer soumis à la cémentation est resté plus long-temps dans les caisses et a subi une chaleur plus active. L'acier liquide versé dans des moules, subit les mêmes modifications que la fonte, quoiqu'à un bien moindre degré.

15. *L'acier naturel* traité de cette manière, éprouve des changemens moins sensibles : sa couleur et sa dureté restent les mêmes, mais sa texture devient un peu plus grosse.

16. *La fonte grise obtenue avec le charbon de bois,*

fondue dans un creuset d'argile et refroidie avec lenteur, reste douce, conserve sa malléabilité, et prend seulement une grainure plus fine : fondue dans un creuset de graphite, elle n'éprouve le plus souvent aucune modification dans sa texture. La poussière de charbon (noir de fumée) ajoutée au fer cru, en augmente la douceur, la malléabilité et le poids; lui communique une texture d'un gris foncé, noirâtre, si toutefois le refroidissement s'exécute avec lenteur. On voit alors sur la surface du métal, des lames de graphite qui paraissent aussi dans la cassure.

Refondue dans le creuset d'argile et versée sur le sable humide ou dans des moules de fer ou dans l'eau froide, la fonte grise se change en fonte blanche et aigre; ce changement est d'autant plus complet, qu'on a moins dépassé le degré de chaleur nécessaire à la fusion, et que le refroidissement est plus instantané. Si le métal forme une masse épaisse, ses bords deviennent blancs, tandis que le noyau qui se refroidit avec plus de lenteur, conserve la couleur grise; quant à la partie intermédiaire entre ce noyau et la couche extérieure, elle se compose d'un mélange des deux espèces de fonte. Si une pièce épaisse d'une fonte grise obtenue dans un fourneau à charbon de bois, a été refroidie jusqu'à la chaleur rouge brune et jetée ensuite dans l'eau froide, sa cassure présente un tout autre aspect; le noyau prend une couleur claire, tandis que l'enveloppe extérieure reste grise, parce que la partie intérieure éprouve dans l'eau un refroidissement subit avant d'avoir été figée.

La fonte grise mise en fusion dans un creuset de graphite, se comporte, étant versée dans des moules, de la même manière que si elle avait été refondue

dans un creuset d'argile. Mais liquéfiée dans la poussière de charbon, ce fer cru se change plus vîte et plus complètement en fonte blanche que si la fusion avait été exécutée sans une addition de ce combustible. Dans l'un des cas, les moules seront remplis d'une fonte parfaitement blanche, dure et aigre, tandis que dans l'autre, ils le seront de fonte grise, ou du moins d'un mélange des deux espèces de régule.

Si la fonte grise obtenue dans des fourneaux à charbon de bois, est stratifiée avec le combustible dans un fourneau à cuve et mise en fusion devant la tuyère, elle reçoit une couleur plus blanche et une dureté plus grande que celles qu'elle avait auparavant. Liquéfiée au contraire dans des fours à réverbère sans addition de charbon, elle acquiert plus de mollesse; et si le refroidissement s'exécute avec beaucoup de lenteur, elle paraît n'éprouver aucun autre changement : mais lorsqu'on accélère le refroidissement, le fer cru se comporte à peu près de la même manière que s'il avait été traité dans un creuset d'argile. Les modifications qu'il éprouve sont toutefois d'autant moins sensibles qu'il a été refondu un plus grand nombre de fois.

17. *La fonte grise obtenue dans les fourneaux à coke, animés d'une forte chaleur*, se comporte, étant refondue dans un creuset d'argile et refroidie avec lenteur, de la même manière que la fonte grise provenant des fourneaux à charbon végétal, excepté que la première augmente un peu plus en poids lorsqu'on la refond dans la poussière de charbon. Mais versées dans des moules et refroidies subitement, elles ne manifestent pas les mêmes propriétés; la couleur, la douceur et la texture de la fonte obtenue au coke,

n'éprouvent qu'un léger changement : granulée même dans l'eau froide, elle ne se convertit que difficilement en fonte blanche. Si, mélangée de charbon et couverte d'une couche de ce combustible réduit en poussière, elle se trouve refondue dans le creuset et tenue long-temps en bain, ses propriétés se rapprochent alors de celles de la fonte grise obtenue dans les fourneaux à charbon végétal et liquéfiée une deuxième fois ; c'est-à-dire qu'elle passe plus facilement à l'état de fonte blanche.

Stratifiée avec du charbon et refondue dans un foyer à cuve devant la tuyère, la fonte grise des fourneaux à coke conserve presque toute sa douceur et sa malléabilité. Refondue dans un four à réverbère, elle devient encore plus douce et plus tenace qu'elle ne l'était avant la fusion. Il suit de là, que cette fonte subit dans toutes les circonstances un changement moins notable que la fonte grise obtenue dans des fourneaux à charbon végétal : elles ne se rapprochent l'une de l'autre que lorsqu'elles sont refondues avec une addition de charbon dans le creuset, et qu'elles sont maintenues assez long-temps à l'état liquide sous une couche de ce combustible.

18. *La fonte blanche la plus dure et la plus aigre*, celle qu'on obtient lorsque le haut fourneau n'est pas encore entièrement dérangé, se comporte, étant refondue dans un creuset, et refroidie avec une extrême lenteur, de la même manière que la fonte grise liquéfiée avec *une addition de charbon*. Elle forme un régule gris, doux et malléable ; mais si la fusion s'effectue dans la poussière de charbon, cette fonte n'en augmente pas de poids, à moins qu'elle ne soit mélangée avec la fonte truitée, ou qu'on ne l'ait obtenue

dans un fourneau entièrement dérangé. Si pourtant le métal refondu ne se refroidit pas dans le creuset même avec beaucoup de lenteur, il se change promptement en fonte blanche. Le contact seul de l'air froid qui pénètre par le joint d'un couvercle mal luté, peut produire ce changement dans le fer cru manganésifère, du moins à la surface du régule. Si l'on voulait verser la matière dans des moules, il faudrait les chauffer à un haut degré, pour empêcher la conversion de toute la masse en gueuse blanche; et quand bien même on use de cette précaution, on ne peut obtenir qu'un mélange de fonte blanche et de fonte grise, dans lequel la première est prédominante.

Refondue dans un fourneau à cuve, au milieu de charbons embrâsés, la fonte blanche subit un déchet considérable, et le fer cru qu'on obtient possède toutes les propriétés qu'il avait avant la fusion. Si cette fonte est liquéfiée dans un four à réverbère activé par un tirage considérable, elle ne change pas de nature; mais tenue en bain à une haute température, elle prend une couleur plus foncée, devient de plus en plus douce et malléable, et ne se laisse plus durcir aussi fortement par le refroidissement instantané.

La fonte blanche obtenue d'un fourneau dérangé, se comporte, étant refondue dans le creuset, de la même manière que celle qui doit son origine à la fonte grise refroidie subitement. Elle forme, si le refroidissement est très-long, un régule gris, doux et malléable, d'une grainure fine, et ne blanchit pas aussi facilemeut par le passage subit de l'état liquide au solide, que l'autre espèce de fonte obtenue d'un fourneau non dérangé et devenue grise par une deuxième fusion.

19. Les conclusions que l'on peut déduire de ces phénomènes, sont encore plus évidentes que les conséquences qui résultent du grillage des fers carburés. La fonte liquide contient le carbone en dissolution sans proportions déterminées. Si le métal se fige rapidement, les combinaisons avec des proportions définies, ne peuvent pas se former, et toute la masse devient alors dure et aigre : plus le régule est riche en carbone, moins on peut empêcher le refroidissement et plus la fonte est dure et blanche; moins il contient de carbone, plus le refroidissement s'exécute avec lenteur; en sorte que l'effet produit est le même à peu près que si l'on avait retardé la congélation, en laissant la fonte dans une température élevée. Il est donc évident que le carbone tend à se dégager du fer, et que la séparation est d'autant plus complète que le refroidissement s'exécute avec plus de lenteur. Une grande quantité de cette substance contenue dans le régule, accélère le passage de l'état liquide à l'état solide. Il en résulte que toutes choses étant égales d'ailleurs, le fer qui tient une petite dose de ce combustible en dissolution, peut, en refroidissant, donner un métal doux, malléable et foncé en couleur; tandis que le régule qui est plus riche en carbone, refroidissant plus vîte, forme une masse dure, aigre et blanche. Les circonstances qui accompagnent le refroidissement du régule, exercent donc une influence aussi forte sur la nature du métal, que la quantité de carbone qu'il renferme.

III. *Des phénomènes produits par la dissolution du fer dans les acides.*

20. Nous ne voulons parler ici que de la dissolution du fer, dans les acides sulfurique, nitrique et hydrochlorique. Il est inutile de rappeler que la quantité de carbone contenue dans le fer, ne peut être déterminée rigoureusement par l'analyse, avant qu'on ne sache recueillir les nouveaux corps formés par ce combustible pendant l'opération même, et avant que l'on ne connaisse les proportions de leurs élémens.

On sait depuis long-temps que telle espèce de fer dissoute dans l'acide hydrochlorique, ne laisse aucun résidu, qui, par la dissolution dans l'acide sulfurique et particulièrement dans l'acide nitrique, donne lieu à des résidus considérables. Si donc toute la quantité de carbone contenue dans le métal, se combinait et s'échappait avec le gaz hydrogène, on pourrait, en soumettant le gaz à l'analyse, déterminer, non sans quelques difficultés, la dose de ce combustible qui serait contenue dans le fer carburé; mais il se forme en même temps une huile oléifiante dont la composition est inconnue, et dont la quantité ne peut être trouvée avec exactitude.

Des obstacles semblables se présentent lorsqu'on emploie l'acide sulfurique; et l'acide nitrique change quelquefois le carbone en une poudre brune rougeâtre inconnue, qui reste dissoute en partie dans l'acide. La détermination de la quantité de carbone à l'aide de l'acide sulfureux proposée par M. Vauquelin, paraît encore plus difficile, parce qu'il se forme aussi du sulfure de fer. On ne pourrait pas non plus atteindre le but proposé en traitant le métal avec le persulfate ou

le perhydrochlorate de fer, pour éviter le dégagement de l'hydrogène et la perte de carbone qui en résulte, parce que la dissolution serait imparfaite, qu'il existe même des fers qui s'y refuseraient entièrement, et qu'il se formerait très-souvent un sous-sel malgré la précaution qu'on aurait d'opérer dans des vases clos.

Si donc la dissolution du fer dans les acides, ne fournit pas le moyen de déterminer rigoureusement la quantité de carbone qu'il contient, les phénomènes qui se présentent pendant l'opération, serviront toutefois à faire juger de l'état dans lequel cette substance se trouve dans les diverses espèces de fer carburé.

21. *Le fer ductile* se dissout dans l'acide hydrochlorique non concentré et dans l'acide sulfurique fortement étendu d'eau, en laissant un léger résidu graphiteux, qui, après avoir été lavé et séché, devient attirable à l'aimant, et donne, étant grillé au contact de l'air dans le creuset de platine, un oxide de fer rouge. En séjournant quelque temps dans les acides étendus d'eau, cette substance graphiteuse devient brune, noirâtre et se change en un charbon qui cesse d'être attirable à l'aimant; l'acide nitrique la convertit très-promptement en une poudre brune rougeâtre qui, sans laisser aucun résidu, brûle avant de passer à la chaleur rouge.

L'acide hydrochlorique concentré dissout le fer sans donner aucun résidu, et l'acide sulfurique faiblement concentré ne laisse qu'une trace de poudre brune noirâtre. En se servant de l'acide nitrique, on obtient un charbon brun rougeâtre qui, si l'on chauffe la liqueur, se dissout promptement et donne à la dissolution une couleur brune.

22. *L'acier de cémentation*, tel qu'il sort du four-

neau, se comporte avec les acides sulfurique et hydrochlorique, de la même manière que le fer forgé; mais il laisse pour résidu une plus grande quantité de substance graphiteuse. L'emploi de l'acide hydrochlorique concentré ne donne lieu à aucun résidu. L'acide sulfurique étendu dans deux parties et demie d'eau, dissout l'acier très-promptement; et pendant l'opération, il se détache du métal, de petites feuilles graphiteuses qui se changent en charbon brun noirâtre. Si l'on décante promptement, avant même que l'acier soit décomposé, et qu'on enlève le charbon déjà formé, en se servant de la potasse caustique qui le dissout et se colore en noir, on peut obtenir ces feuilles graphiteuses assez nettes : douées de l'éclat métallique, elles le conservent tant qu'elles sont plongées dans l'eau, et le perdent assez promptement par l'influence de l'air atmosphérique. Elles sont attirables à l'aimant, laissent après la combustion dans le creuset de platine, un oxide de fer rouge et subissent, par l'action de l'acide hydrochlorique concentré, les changemens précités.

L'acide nitrique dissout l'acier *poule* très-promptement, et produit un dégagement de gaz nitreux; la dissolution est colorée d'une manière très-intense en rouge brun par les feuilles graphiteuses qui se changent en charbons bruns rougeâtres et qui se dissolvent en grande partie dans l'acide. En se servant de l'acide nitrique concentré, on obtient une plus grande quantité de substance graphiteuse qu'en faisant usage de l'acide sulfurique concentré. Cent parties de cette matière laissent après la calcination dans un creuset de platine, 80 à 94 parties de fer oxidé. Si, au lieu de l'acide nitrique concentré, on emploie le même

acide étendu d'eau, la dissolution devient plus lente; il ne se détache point de feuilles graphiteuses, et l'on obtient un résidu charbonneux brun rougeâtre, non attirable à l'aimant, et susceptible de brûler avec détonnation dans le creuset de platine, avant d'arriver à la chaleur rouge. Si l'acier a reçu une texture plus compacte par le battage à froid, on ne peut plus en séparer des feuilles graphiteuses, même en employant l'acide nitrique concentré.

23. *L'acier fondu* refroidi lentement se comporte, étant dissout dans les acides, presque de la même manière que l'acier de cémentation; la seule différence qu'on y remarque, c'est que la dissolution opérée par l'acide nitrique est plus lente, et que les feuilles graphiteuses se changent plus vîte en charbon brun rougeâtre, en sorte qu'il est difficile de les obtenir avant qu'elles n'aient subi une altération.

Si l'acier fondu a été rendu plus compacte par le battage, on ne peut plus en retirer de substance graphiteuse au moyen de l'acide nitrique, parce que le changement de cette matière en charbon brun rougeâtre, s'effectue déjà avant qu'elle soit détachée de la masse métallique; la liqueur se trouble, devient opaque, et reçoit une couleur rouge foncée avec une nuance violacée; et il se forme au fond du vase, un dépôt rouge brunâtre qui augmente à mesure que la liqueur s'éclaircit par le repos; mais une grande partie de cette matière reste dans la dissolution et la colore en rouge foncé. Lorsqu'on lessive le résidu sur un filtre, les dernières eaux de lavage ont encore une couleur brune jaunâtre. La poudre s'attache fortement au filtre et brûle au-dessous de la chaleur rouge, avec explosion. L'acier fondu martelé se dissout aussi

dans l'acide hydrochlorique étendu d'eau, beaucoup plus lentement que l'acier poule. Le résidu graphiteux est par conséquent fortement mélangé avec du charbon brun noirâtre, de sorte qu'il est impossible de l'obtenir pur et sans qu'il ait subi une décomposition.

24. *L'acier de forge non trempé*, *l'acier fondu refroidi lentement*, et *la fonte blanche devenue grise* par un grillage prolongé, se comportent dans la dissolution des acides, de la même manière que l'acier cémenté refroidi lentement et rendu plus compacte par le martelage à chaud : la séparation des feuilles graphiteuses d'avec le métal, est à peine sensible, parce qu'elles se changent aussitôt en poudre brune rougeâtre.

25. *Tous les aciers trempés* manifestent à l'égard des acides, les mêmes propriétés modifiées d'ailleurs par le degré d'énergie de la trempe : moins elle est forte, plus les phénomènes se rapprochent de ceux que présente l'acier non trempé. Celui qui a reçu le plus haut degré de trempe qu'il est susceptible de prendre, se dissout dans les acides très-difficilement et avec une extrême lenteur.

Cet acier se couvre dans l'acide hydrochlorique étendu d'eau, après plusieurs jours, d'une poussière noire, et la dissolution fait si peu de progrès, qu'elle ne peut s'achever, comme il est probable, qu'après un assez grand nombre de mois. Cette poussière enlevée avec précaution et dégagée des particules de fer par un plus long séjour dans l'acide, se comporte comme le charbon et brûle sans résidu; traitée avec l'acide nitrique, elle donne la poudre brune rougeâtre dont nous avons déjà parlé plusieurs fois.

L'acide sulfurique étendu d'eau agit avec un peu plus d'énergie, mais il en résulte à peu près les mêmes phénomènes que par l'emploi de l'acide hydrochlorique étendu d'eau; le dernier de ces acides, s'il est concentré, opère une dissolution parfaite et très-rapide, si l'on chauffe jusqu'à l'ébullition de l'eau : il se dégage de l'hydrogène qui se fait connaître par son odeur particulière et qu'on retrouve toujours en dissolvant le fer dans les acides hydrochlorique et sulfurique. Le résidu ne contient pas une trace de charbon. L'acide sulfurique légèrement étendu d'eau, produit à peu près le même effet, mais on obtient un peu de charbon noir.

L'acide nitrique étendu d'eau, agit aussi très-lentement sur l'acier trempé. Si l'on emploie de l'acide à une pesanteur spécifique de 1,30, le gaz nitreux se dégage lentement, et la liqueur se colore à la température ordinaire, en rouge brunâtre, sans pourtant cesser d'être limpide. On voit se séparer de l'acier, des flocons noirs pourvus de l'éclat métallique, non magnétiques, solubles dans la potasse caustique et doués de la propriété de brûler avec explosion dans le creuset de platine, sans laisser aucun résidu : ces flocons se changent en poudre rouge brunâtre par l'action prolongée de l'acide. Tous ces phénomènes se succèdent très-rapidement, et il se forme une grande quantité d'écume lorsque l'action de l'acide se trouve aidée par la chaleur de l'ébullition. L'effervescence produite par la décomposition de la poudre noire métallique devenant brune rougeâtre, est si forte, que la liqueur paraît bouillonner à grands flots; une partie de cette poudre se dissout, et le reste qu'on trouve dans le résidu brûle avec détonnation sans laisser une trace d'oxide de fer.

26. *La fonte blanche* se comporte avec les acides de la même manière que l'acier trempé ; mais tous les phénomènes paraissent encore plus prononcés. Les acides hydrochlorique et sulfurique étendus d'eau, n'exercent presqu'aucune action sur cette espèce de fer carburé ; ce n'est qu'après plusieurs semaines qu'elle se couvre d'une légère poussière noire. L'acide hydrochlorique concentré la dissout parfaitement à la chaleur de l'ébullition, sans laisser aucun résidu. En faisant usage de l'acide sulfurique, on obtient un peu de charbon noir doué de l'éclat métallique. L'acide nitrique employé à la température ordinaire, sépare du métal des flocons noirs qui, par un long séjour dans l'acide, se colorent en brun rougeâtre : à la chaleur de l'ébullition, il se produit une vive effervescence accompagnée des phénomènes précités.

27. *La fonte grise* se comporte d'une toute autre manière. Les acides hydrochlorique et sulfurique étendus d'eau l'attaquent lentement. On obtient après plusieurs mois un résidu qui contient le carbone dans trois états différens : une partie se compose de feuilles et d'écailles douées d'un éclat métallique très-prononcé, non solubles dans les acides et les alkalis, non attirables à l'aimant et ne brûlant qu'à la chaleur rouge : ce corps est connu depuis long-temps sous le nom de graphite. Une autre partie présente aussi un aspect graphiteux, mais elle agit sur l'aiguille aimantée et se comporte de la même manière que la substance graphiteuse qu'on obtient de l'acier non trempé dissout dans les acides. Enfin une autre partie a une couleur brune noirâtre, n'est pas magnétique, colore la lessive de potasse en noir, et brûle avant que le creuset ne soit rouge. Le graphite se trouve toujours dans le

résidu : quant aux deux autres matières charbonneuses, il y manque souvent l'une ou l'autre.

L'acide hydrochlorique concentré agit sur la fonte grise avec plus d'énergie que les acides étendus d'eau, sur-tout lorsque son action est renforcée par la chaleur. Une partie du graphite est enlevée mécaniquement par l'hydrogène, et les autres composés de charbon disparaissent entièrement avec ce gaz; mais on obtient toujours un résidu de graphite.

L'acide sulfurique faiblement étendu d'eau, laisse dans les mêmes circonstances, outre le graphite, du charbon noir facilement combustible et non attirable à l'aimant.

L'acide nitrique, s'il est doué d'une pesanteur spécifique de 1,3, agit assez faiblement sur la fonte grise à la température ordinaire. Il se présente des phénomènes qui semblent s'accorder tantôt avec ceux que produit l'acier doux, tantôt avec ceux que manifeste l'acier trempé. Le premier cas arrive, si la fonte est très-grise; le deuxième, lorsque sa couleur est plus claire. L'action de l'acide paraît de temps à autre suspendue, et ce n'est qu'après qu'une feuille de graphite s'est détachée, qu'elle semble reprendre une grande énergie. Le même effet a lieu à la chaleur de l'ébullition; et si dans un instant quelconque la dissolution fait des progrès rapides, ils sont toujours dus à la séparation d'une feuille de graphite d'avec le métal. Cette substance forme donc un obstacle mécanique, en ce qu'elle protége le fer contre l'influence de l'acide, et qu'elle retarde la dissolution au point qu'à la température ordinaire, ce n'est qu'après plusieurs semaines qu'on peut l'effectuer en entier, et seulement après plusieurs heures, à la chaleur de l'ébullition. La couleur de

la liqueur prouve évidemment qu'une partie du charbon a été dissoute. Le résidu se compose rarement de graphite pur : c'est presque toujours un mélange de ce corps et d'une plus ou moins grande quantité de charbon changé en poudre brune.

28. Pour se rendre raison de ces divers phénomènes que présente le fer carburé en se dissolvant dans les acides, on doit d'abord fixer ses idées sur la nature des substances qui se dégagent pendant la dissolution. Le graphite peut s'obtenir parfaitement pur, parce qu'il est inattaquable par les acides et les alkalis. A la chaleur lumineuse et au contact de l'air, il disparaît lentement sans laisser aucun résidu. Pour brûler de cette manière 17 grains dans le moufle d'un fourneau d'essai, il m'a fallu quatre heures, quoique le moufle ait été entretenu à la chaleur blanche. Cette quantité de graphite n'a laissé sur une feuille de platine où elle était étendue pour présenter de plus nombreux points de contact avec l'air, qu'une trace de silice parfaitement blanche qui paraît avoir échappé à l'action de la potasse caustique. Pendant le grillage, le volume du graphite diminue peu à peu, sans qu'on puisse apercevoir le moindre indice de flamme. Si l'on interrompt l'opération et que l'on examine ensuite les feuilles demi-calcinées, on voit qu'elles diffèrent de celles qui n'ont pas encore subi l'action du feu, parce qu'elles sont devenues plus minces, et que, exposées à la lumière, elles paraissent transparentes en certains endroits et présentent une texture fibreuse toute particulière, qu'on n'aperçoit pas dans ce corps, lorsqu'il n'a pas encore été grillé.

Fondu avec le nitrate de potasse, ce graphite ne produit point d'explosion ; il se consume lentement,

et le reste du sel se dissout dans l'eau sans donner de résidu. Je n'ai pu réussir à changer le sulfate de potasse en sulfure, à l'aide de cette matière charbonneuse.

Il résulte de ce que nous venons de dire, que le graphite contenu dans la fonte grise, n'est pas un composé de charbon et de fer, mais il paraît être le charbon parfaitement pur, ou pour mieux dire la base métallique de ce combustible. Il s'agit donc d'examiner encore, si le graphite naturel est un carbone pur, ou s'il est véritablement un composé de carbone et de fer.

29. Il n'est pas aussi facile de déterminer la nature du résidu graphiteux qu'on obtient en dissolvant l'acier non trempé dans les acides; ce n'est que dans des circonstances très-favorables qu'on peut le séparer du métal, en y procédant avant que la dissolution de ce dernier soit achevée; et même alors, il ne se trouve qu'en petite dose, mêlé avec du charbon décomposé. Bien que celui-ci puisse être enlevé par la potasse caustique, on ne peut prétendre que la séparation soit complète. D'un autre côté, on remarque que la substance graphiteuse retirée du filtre, a perdu de son éclat métallique, ce qui indique déjà une première altération et jette de l'incertitude sur les résultats de l'analyse. Du reste ce n'est pas la matière graphiteuse donnée par un acier martelé, dissout dans l'acide sulfurique étendu d'eau, qui doit être analysée, parce qu'elle est toujours dans un état de décomposition très-avancée. Il faut se servir plutôt de celle qu'on obtient par la dissolution de l'acier *poule*, à l'aide de l'acide nitrique concentré, en y procédant d'après la méthode précédemment indiquée. Mais, malgré tous les

soins que j'ai mis dans ces opérations, je suis toujours parvenu à des résultats différens. La quantité de peroxide de fer restée dans le creuset de platine, variait entre 82 et 94 pour cent : les proportions trouvées le plus fréquemment paraissaient être 40 de charbon et 60 de métal. Si l'on voulait admettre ces données, la substance dont il s'agit serait donc composée, d'après le système de M. Berzelius, de 6 atomes de carbone et d'un atome de fer. Ce corps laisserait après la calcination 86,5 pour 100 d'oxide de fer : résultat qui est assez d'accord avec ceux que nous avons obtenus ; mais il faut avouer qu'on n'est pas entièrement sûr que la matière employée n'ait pas déja subi une décomposition.

Il est possible que des expériences plus certaines prouvent par la suite, que ce corps n'est pas un sexto carbure, et qu'il contient les deux composans dans une autre proportion ; mais on pourra le regarder, sans commettre d'erreur, comme un carbure composé d'un atome de fer uni à plusieurs atomes de carbone. Cette substance se trouve contenue dans le fer forgé, dans l'acier non trempé, dans la fonte blanche devenue grise par un grillage prolongé, ainsi que dans la fonte grise lorsqu'elle est très-douce et foncée en couleur.

30. La remarque que nous avons déjà faite précédemment, que le carbone tend à se séparer du fer soumis à une haute température et refroidi avec lenteur, se confirme par la dissolution des diverses espèces de fer carburé. La fonte grise seule contient du carbone non combiné qui, dans cet état, résiste à l'action des acides et ne produit, pendant la dissolution, d'autre effet que d'en retarder les progrès d'une manière mécanique. Lorsque la matière se refroidit promptement, le charbon n'a pas le temps de

s'isoler; il reste uni à toute la masse du fer, et comme il tend à dérober celui-ci à l'action de l'acide, il participe au changement que ce dernier fait éprouver au métal; ou bien il se trouve entraîné par l'hydrogène à l'état de gaz; ou il se combine avec l'oxigène, l'hydrogène et probablement encore avec d'autres corps, et forme ensuite une liqueur oléagineuse; ou enfin il constitue un résidu noir qui est facilement inflammable, et qui a perdu presque tout son éclat métallique.

Le carbone est contenu d'une autre manière dans l'acier non trempé et en partie dans la fonte grise; au lieu d'être combiné avec la masse entière du métal, il ne l'est qu'avec une partie en proportion déterminée, et ce composé se trouve ensuite dissout dans le reste du fer : il s'ensuit que ces fers mous sont plus fortement attaqués par les acides, que ne peuvent l'être la fonte blanche et l'acier trempé, et que l'action de ces réactifs sur le carbone des fers mous est plus prononcée, parce que ce carbone ne se trouve combiné qu'avec une petite quantité de métal.

L'acide nitrique, par exemple, change tout de suite le carbone contenu dans les diverses espèces de fer mous, en poudre brune rougeâtre, tandis qu'il ne le sépare d'abord des fers durs que sous forme d'une substance noire qui devient seulement rougeâtre par l'action prolongée de l'acide.

31. Il est donc indubitable que le carbone se trouve en trois états différens dans le fer carburé : il y est mélangé à l'état de graphite, ou combiné avec toute la masse, ou enfin combiné en proportions définies avec une partie du fer et formant un carbure qui est ensuite dissout dans le reste du métal.

La mollesse du fer n'est jamais déterminée d'une manière absolue par la quantité de carbone qu'il contient ; mais elle l'est par la quantité de carbone mélangé qu'il renferme, soit à l'état de graphite, soit à l'état de *polycarbure*, s'il nous est permis d'employer cette expression. La malléabilité à la température ordinaire paraît être proportionnelle à la mollesse du fer. Il n'en est pas de même à la chaleur incandescente, parce qu'il se forme alors d'autres composés de carbone. La fonte grise qui, à la température ordinaire, est très-douce, perd, lorsqu'on la travaille sous le marteau, étant rouge de feu, d'autant plus de sa douceur que la chaude a été plus intense. L'analyse prouve aussi que cette fonte grise forgée contient beaucoup plus de carbone combiné qu'elle n'en avait avant la chaude, parce que les coups de marteau rapprochent les parties et favorisent l'union des deux corps. C'est aussi pour cette raison que, dans les températures élevées, la ténacité du fer est modifiée par la quantité de carbone qu'il contient.

La fonte grise devrait posséder à la température ordinaire, le même degré de malléabilité que le fer le plus doux, si le graphite qu'elle contient à l'état de mélange ne s'opposait pas à la réunion des molécules du métal.

Nous manquons encore d'expériences sur les modifications que le carbone contenu dans le fer fait éprouver à la ténacité de ce métal. La fonte grise est très-douce, mais elle n'est pas douée de la plus grande ténacité relative, parce que le graphite s'y oppose mécaniquement. La fonte blanche possède le plus de dureté, ce qui doit en diminuer nécessairement la résistance. Il se pourrait fort bien qu'un mélange des

deux espèces de fer, plus dur que l'une et plus mou que l'autre, possédât la plus grande ténacité.

32. Si l'on demandait la raison pour laquelle le carbone contenu dans le fer refroidi lentement, n'en est pas toujours séparé à l'état métallique, ou pourquoi le fer en barre et l'acier non trempé, lorsqu'ils ont été en fusion, ne contiennent point de graphite et qu'on n'y trouve que du polycarbure, il serait difficile de répondre à cette question d'une manière satisfaisante. On peut croire d'abord que la quantité de carbone contenue dans le fer carburé, doit avoir atteint un maximum pour que cette séparation puisse avoir lieu, et qu'au-dessous de ce point, il se forme toujours un polycarbure. Cette hypothèse ferait supposer que le polycarbure se combine avec le fer en proportion déterminée, ce qui n'est pas inadmissible, quoique rien ne le prouve, puisque l'analyse indique souvent dans la fonte grise, moins de carbone *combiné* qu'elle n'en fait découvrir dans beaucoup d'espèces d'aciers non trempés. Il est plus probable que la séparation du carbone d'avec la masse du métal s'opère dans le premier instant du refroidissement, et que plus tard il se forme les composés que nous voyons naître en chauffant le fer dans la poussière de charbon. Cette supposition paraît d'autant plus vraisemblable qu'on peut remplacer dans la cémentation, le charbon par le graphite ou même par la fonte grise, et que le fer ductile, ainsi que l'acier, qui contiennent peu de carbone, exigent un très-haut degré de chaleur pour entrer en fusion, et demandent par conséquent beaucoup de temps pour se figer; de sorte que toutes les conditions se trouvent réunies pour que le graphite, qui enveloppe les particules du fer, en soit absorbé

pendant que la matière est encore à la chaleur blanche. A mesure que la dose de carbone contenu dans la fonte, augmente la formation du polycarbure devient plus difficile, puisque la masse se refroidit plus vîte et que le graphite mêlé au fer, se trouve enveloppé par une moindre quantité de métal.

Lorsqu'il s'est formé du graphite, on peut être certain que la matière a été parfaitement liquide; c'est pour cette raison que le fer carburé dur et aigre, chauffé au-dessous du point de fusion, et refroidi lentement, ne donne jamais de graphite; mais il s'y forme toujours du polycarbure interposé entre ses particules. La cause qui produit cet effet, est la même que dans la cémentation du fer, avec la seule différence que, pendant cette opération, le carbone qui doit former le polycarbure arrive du dehors, et que pendant le grillage ce carbone est fourni par le métal. Il faudrait trouver un moyen de séparer le carbure de fer, sans en altérer la composition, avant de décider que tous les carbures renfermés dans les diverses espèces de fer mou, sont composés d'une manière identique.

33. L'expérience journalière nous prouve qu'une trop forte dose de carbone contenue dans le fer en détruit la malléabilité dans les températures élevées. Si le mode de combinaison entre les deux corps était le même à la chaleur incandescente et à la température ordinaire, on ne verrait pas pourquoi la fonte grise chauffée perd une partie de sa malléabilité, ou même pourquoi elle n'en acquerrait pas un plus haut degré. Cette simple observation suffirait déjà pour faire juger du mode de combinaison des deux corps à la chaleur incandescente. La combinaison doit être générale, lorsque le fer est à l'état liquide; c'est l'in-

tensité de la chaleur, la quantité de carbone, la durée de la congélation et du refroidissement qui déterminent les propriétés du métal qu'on obtient. Au reste, la quantité de carbone peut être la même dans le fer mou et dans le fer dur qui a donné naissance au premier *.

---

* Il existe une grande différence entre la fonte grise et la blanche considérée à l'état liquide. Sous le rapport de leurs propriétés physiques, elles diffèrent entre elles par la couleur, la liquidité, la pesanteur spécifique, la faculté de se figer plus ou moins promptement, lors même qu'elles renferment d'égales doses de carbone. Elles doivent donc différer l'une de l'autre par la manière dont elles contiennent cette substance. Il nous semble d'ailleurs qu'on ne peut supposer que le graphite ou carbone se sépare seulement du métal au moment de la congélation, puisque les fontes très-grises en donnent déjà une grande quantité qui surnage, lorsqu'elles sont encore liquides, et à l'instant même où elles sortent du fourneau. On est donc obligé de croire qu'il existe du carbone à l'état de mélange dans la fonte grise liquide, et que la viscosité de la matière l'empêche de se dégager et de gagner la surface.

Comme la fonte grise doit presque toujours son origine à une chaleur intense et soutenue, on doit penser qu'une haute température dispose le carbone à la cristallisation et le force d'abandonner le fer : il est vrai de dire qu'un très-lent refroidissement peut produire sur le carbone de la fonte blanche, un effet analogue, puisque cette fonte mise en fusion à un degré de chaleur assez ordinaire, et refroidi dans le creuset avec une extrême lenteur, devient grise; mais cette fonte diffère pourtant de celle qui est sortie grise des hauts fourneaux et sur-tout des fourneaux à coke, ne serait-ce que parce qu'elle est bien plus disposée à devenir blanche. Au reste, si l'abandon d'une partie du carbone est dû à la cristallisation provoquée par une haute température, il n'est pas surprenant que cette cristallisation soit aussi favorisée par un très-lent refroidissement.

Il est probable que les lames de graphite contenues dans la fonte grise, retirée des hauts fourneaux, sur-tout de ceux qu'on alimente avec le coke, sont plus épaisses, plus compactes et douées d'une

34. En cherchant des proportions constantes, entre les composans des diverses espèces de fer, on voit bientôt qu'on ne peut les trouver ni dans le fer ductile, ni dans l'acier, parce que leur carbure est un composé dérivé. La dureté qu'ils reçoivent par la trempe ne peut être attribuée qu'à la plus ou moins grande quantité de ce carbure qu'ils contiennent et qui se décompose. Il peut être utile pour la fabrication de l'acier de connaître la quantité de carbure que ce métal doit renfermer, pour acquérir par la trempe, les degrés de dureté voulus pour les différens usages; mais ces recherches ne peuvent servir à faire connaître les proportions constantes dans lesquelles le fer se combine avec le carbone, dissout dans la masse entière.

Ces proportions, s'ils elles existent, ne peuvent se trouver que dans la fonte, et seulement dans celle qui a été obtenue par la fusion des minérais; car il ne faudrait pas les chercher dans le fer cru dont la dose de carbone a été augmentée ou diminuée par une seconde fusion. La gueuse grise contient, soit du carbone libre, soit du carbone combiné, et par conséquent aussi des composés dérivés : la formation de ces corps dépend du degré de chaleur qui régnait dans le haut fourneau, et des diverses circonstances de la congé-

---

plus forte cohésion, que ces lames qu'on voit dans la cassure de la fonte grise, provenant d'une fonte blanche, mise en fusion et refroidie lentement. C'est pour cette raison que la première de ces deux espèces de fer cru blanchit si difficilement, lors même qu'on la réduit en grains (17), tandis que le plus léger contact de l'air suffit pour opérer le blanchîment de la deuxième.

On voit évidemment que notre manière d'envisager la formation de la fonte grise n'est en opposition avec aucun fait de ce mémoire.

Le T.

lation et du refroidissement. Ce fer cru ne peut donc offrir des proportions constantes dans sa composition ; mais on peut espérer de les trouver dans la fonte blanche obtenue d'un fourneau dont la marche n'était pas déréglée, et qui donnait en vertu d'un juste dosage du minérai, des scories d'une couleur peu foncée. On sait qu'une semblable fonte ne peut être obtenue dans des fourneaux à coke, sans beaucoup de difficulté, et qu'on ne peut l'obtenir continuellement dans des fourneaux alimentés avec du charbon végétal, qu'en y traitant des minérais très-fusibles. La fonte blanche composée de grandes lames qui annoncent une texture cristalline, fonte qu'on retire dans un état parfait du fer spathique, paraît être la seule espèce de fer cru dans laquelle on puisse trouver des proportions déterminées.

35. Nous avons vu précédemment, que l'analyse du fer carburé au moyen des acides, est d'autant plus difficile que ce fer contient plus de carbone à l'état de combinaison. On parvient à des résultats plus certains, en traitant le métal par le chlorure d'argent, auquel on ajoute une assez grande quantité d'eau distillée et quelques gouttes d'acide hydrochlorique : on opère dans des vaisseaux clos. Mais quelque soin qu'on prenne, on ne peut éviter entièrement que le résidu charbonneux ne subisse une altération qui est prouvée par la nature du gaz qui se dégage, et sur-tout par l'aspect du charbon, qui a perdu son éclat métallique, et qui brûle avec une grande facilité à la chaleur rouge.

36. L'acier non trempé et le fer ductile donnent, lorsqu'on les décompose par le chlorure d'argent, du charbon brun noirâtre non magnétique, ainsi qu'une

substance graphiteuse parfaitement semblable à celle qu'on obtient en traitant ces métaux par les acides; mais cette substance finit par se changer aussi en charbon brun noirâtre, de sorte que l'emploi du chlorure d'argent ne présente pas non plus un moyen certain de se procurer le carbure de fer avant qu'il ait éprouvé une décomposition. On le retire néanmoins des divers fers en plus grande quantité, et peut-être aussi avec plus de pureté à l'aide de ce réactif qu'avec les acides : mais il est difficile d'arrêter la décomposition au point convenable.

La fonte blanche et l'acier trempé ne laissent que du charbon brun noirâtre. La décomposition est extrêmement lente, parce qu'il se forme une enveloppe de charbon qui protége l'intérieur du métal contre l'action de l'acide; c'est pour cette raison et pour convertir aussi la majeure partie du carbone combiné en carbone libre, qu'il est préférable de changer la nature de cette fonte, de la rendre grise par une seconde fusion opérée dans un creuset d'argile hermétiquement fermé, et de la décomposer ensuite par le chlorure d'argent.

37. Les résidus séchés après le lavage, à la chaleur de l'ébullition, contiennent presque toujours du fer et de la silice : il faut donc, après les avoir pesés, les calciner dans le creuset de graphite, jusqu'à ce qu'ils ne changent plus de couleur et qu'ils cessent d'être attirables à l'aimant. On les pèse ensuite de nouveau, et l'on enlève par l'acide hydrochlorique l'oxide de fer dont la dose se détermine par le poids de la silice qui ne peut se dissoudre : il est évident, du reste, qu'on ne doit porter en compte que le fer réduit à l'état métallique, tandis que la silice doit

être comptée comme oxide, parce qu'on peut admettre sans erreur, que le silicium contenu dans le fer a été parfaitement oxidé pendant la décomposition.

En soumettant la fonte grise à l'analyse, on se propose de déterminer le carbone libre et le carbone combiné qu'elle peut contenir : mais, comme par les raisons précitées, on doit brûler le résidu, on est obligé pour déterminer la quantité de carbone libre, de dissoudre une deuxième dose de fer cru dans l'acide nitrique, auquel on ajoute une petite dose d'acide hydrochlorique. On enlève ensuite le charbon combiné, et mis à nu par l'action de l'acide ainsi que la silice, à l'aide de la potasse caustique. Après avoir lavé et séché le résidu, on en prend le poids qui indique la quantité de graphite contenue dans la fonte. La différence entre ce poids et celui du charbon obtenu par la première décomposition effectuée par le chlorure d'argent, donne la quantité de carbone combiné avec le fer. L'acide hydrochlorique, en faisant disparaître tout le carbone combiné, donnerait immédiatement la quantité de graphite qu'on cherche; mais on ne doit pas conseiller l'usage de cet acide, parce que l'hydrogène enlève aussi mécaniquement une petite partie de graphite.

38. La fonte blanche la plus lamelleuse, tirée des forges de Müsen, dans la principauté de Siegen, a laissé après la décomposition, malgré tous les soins qui ont été apportés dans le choix des morceaux, encore 0,002 de graphite. Il est extrêmement difficile d'obtenir de la fonte blanche parfaitement exempte de cette substance, à moins qu'on ne la retire d'un fourneau dont l'allure est entièrement dérangée ; mais un semblable fer cru, ayant subi déjà une première

décomposition, a perdu une partie de son carbone, de sorte que les proportions de ses élémens ne peuvent être constantes. Du reste, la petite quantité de carbone libre contenue dans le régule, ne peut occasionner d'erreurs sensibles. La décomposition du chlorure d'argent effectuée par la fonte blanche lamelleuse précitée était extrêmement lente, et le charbon se trouvait tellement disséminé parmi les feuilles d'argent, qu'il était difficile de le recueillir : son poids variait entre 0,045 et 0,05. Chaque expérience a été faite avec 12 à 15 grains de fer, et 80 à 90 grains de chlorure d'argent. La décomposition n'était achevée ordinairement qu'au bout de 10 à 12 jours.

39. Pour diminuer la difficulté qu'on éprouve à recueillir la poussière de charbon qui est dans un état de grande ténuité, nous avons changé la fonte blanche lamelleuse en fonte grise. Une partie a été refondue dans le creuset d'argile hermétiquement fermé, et refroidie lentement; une autre a été mise en fusion dans le creuset de graphite; une troisième enfin a été traitée dans un creuset rempli de noir de fumée. La fonte liquide obtenue dans ces trois creusets a été refroidie très-lentement; mais les culots différaient entre eux par l'aspect de leur cassure : celui qui a été obtenu dans la poussière de charbon, ayant une couleur plus sombre et une grainure plus grosse que n'avait le culot retiré du creuset de graphite, paraissait pour cette raison doué de plus d'éclat. Le régule obtenu dans le creuset d'argile, était plutôt gris foncé que noirâtre, possédait une texture plus fine et résistait plus à la lime que le deuxième, et celui-ci était plus dur que le régule fondu dans le noir de fumée.

La quantité de carbone contenue dans ces trois cu-

lots, a été déterminée par la décomposition du chlorure d'argent, et la quantité de carbone libre, par la dissolution de la fonte dans l'eau régale.

Cent parties de floss lamelleux ont donné les résultats suivans :

	CARBONE combiné.	CARBONE libre.	TOTAL du carbone.
Régule fondu dans le noir de fumée,	0,60	4,62	5,22
Id. dans le creuset de graphite,	0,81	4,29	5,10
Id. dans le creuset d'argile, . . .	1,00	4,05	5,05

La différence assez notable qui existe entre les rapports des quantités de charbon combiné et non combiné avec le fer, est probablement une suite de la plus ou moins grande lenteur du refroidissement. Le culot sorti du noir de fumée, paraissait contenir le carbone combiné, à l'état de polycarbure, tandis que le régule obtenu dans le creuset d'argile, semblait renfermer encore une partie de fer dur ou fonte blanche. On peut admettre, du reste, que les trois régules contiennent la même quantité de carbone, parce qu'on peut négliger sans erreur la petite différence qu'elles paraissent présenter, et ce carbone renfermé dans la fonte blanche, s'*y trouve combiné avec toute la masse du fer*. Ces essais nous conduisent au résultat remarquable, que la fonte blanche lamelleuse contient le maximum de carbone que le fer puisse absorber à l'état liquide, et qu'elle constitue un composé qui, d'après le système de M. Berzelius, serait formé de deux atomes de fer unis à un atome de carbone, ou de 94,7 parties de métal et 5,3 parties de combus-

tible. La fonte blanche lamelleuse, est par conséquent un véritable sous-carbure, et peut être désignée par la formule F e^2 C. Une molécule de carbone se combine donc avec deux molécules de fer, comme elle se combine aussi avec deux molécules de soufre ou d'hydrogène.

40. Voyons à présent quelle est la composition de la fonte grise regardée depuis long-temps par tous les métallurgistes comme le fer le plus carburé.

On ne peut s'attendre, d'après les résultats que nous venons d'indiquer, d'y trouver une plus grande quantité de carbone que dans la fonte blanche. Il paraîtrait assez raisonnable de supposer qu'elle contient le carbone dans un autre état de combinaison, mais cette supposition même ne se trouve pas confirmée par l'analyse, ainsi que le montrent plusieurs expériences faites sur la fonte grise obtenue soit dans des fourneanx à charbon végétal, soit dans des fourneaux à coke *.

---

* Il me semble qu'il est pleinement confirmé par l'analyse, que la différence qui existe entre les deux espèces de fonte doit être attribuée à la manière dont elles contiennent le carbone, puisque la majeure partie de cette substance renfermée dans la fonte grise, s'y trouve à l'état de graphite et de mélange, ce qui n'a pas lieu pour la fonte blanche.

Le T.

Cent paries de fomte grise soumises à l'analyse, nous ont donné les résultats suivans :

	CARBONE combiné.	CARBONE libre.	TOTAL du carbone.
Fonte grise tirée des forges de Sayner, près de Coblentz, d'un fourneau à charbon de bois, alimenté avec des oxides bruns, ...	0,89	3,71	4,60
Fonte grise tirée des forges de Widderstein (Siegen), d'un haut fourneau à charbon de bois, alimenté avec un mélange d'oxides bruns et de fer spathique, ...	1,03	3,62	4,65
Fonte grise provenant des forges de Malapane (Haute-Silésie), d'un fourneau à charbon de bois, . . .	0,75	3,15	3,90
Fonte grise provenant des forges dites Kœnigshütte, d'un fourneau activé avec du coke et alimenté avec des oxides bruns ocreux, . .	0,58	2,57	3,15
Fonte grise provenant du même fourneau, lorsqu'il y régnait un moindre degré de chaleur, ...	0,95	2,70	3,65

Ces diverses espèces de fer cru, étaient toutes d'une couleur très-foncée, très-douces, très-malléables à la température ordinaire, et douées de l'éclat métallique le plus beau; elles paraissaient contenir le carbone à l'état de polycarbure.

41. On ne pouvait s'attendre à trouver dans la fonte grise des proportions constantes d'élémens : mais il résulte des analyses précitées, que ce fer cru contient moins de carbone que la fonte blanche; ce qui est directement opposé à l'opinion jusqu'à présent le plus généralement répandue. De plus, la quantité de

carbone retenue par le fer, paraît diminuer à mesure que la température des hauts fourneaux s'élève; c'est pour cette raison que la fonte très-grise provenant des fourneaux à coke, contient le moins de carbone.

La fonte grise qu'on obtient quelquefois dans les caisses de cémentation soumises à un trop haut degré de chaleur, donne 2,62 pour cent de carbone libre et 0,68 pour cent de carbone combiné, ce qui fait en somme, à peu près la même quantité qu'on trouve dans la fonte grise provenant des fourneaux à coke: mais il paraît que ces proportions ne sont pas constantes, que cette dose de carbone est d'autant plus grande, que les caisses sont pénétrées d'une plus intense chaleur et que le fer liquide séjourne plus long-temps dans la poussière de charbon.

42. D'après la nature de la composition des deux espèces de fer cru que nous venons d'examiner, on peut se faire une idée de celle de la fonte *mêlée* qu'on obtient tantôt à dessein et tantôt accidentellement. Ce régule se rapproche de la fonte grise ou de la blanche, selon le degré de chaleur qui en a déterminé la formation. Au reste, il ne peut jamais exister un mélange des deux espèces de fonte, à moins qu'on ne l'ait effectué à dessein en refroidissant la masse subitement. La fonte dite mêlée, prend tantôt les propriétés de la fonte grise, tantôt celles de la fonte blanche, selon que l'une ou l'autre des deux combinaisons est prédominante.

43. La fonte blanche obtenue par un juste dosage de charbon et de minérai et à une chaleur convenable, se distingue essentiellement de celle qui provient d'un fourneau dont l'allure est très-dérangée. Les floss tendres ou caverneux qu'on tâche d'obtenir en Stirie, dans les usines de Vordernberg, appartiennent à cette espèce

de fer cru. Ils contiennent 3,25 pour cent de carbone combiné avec toute la masse du fer : mais ces proportions ne sont pas constantes; elles dépendent entièrement de la marche du fourneau et diminuent à mesure qu'il se dérange davantage. Il s'ensuit donc que la quantité de carbone contenue dans ce régule, va toujours en décroissant, depuis les floss lamelleux, les floss durs et les floss caverneux ou tendres jusqu'à une espèce de fonte aciéreuse, ou même d'acier ferreux que souvent on est obligé de faire sortir du fourneau en grosses pièces solides *. Ce n'est que par suite du refroidissement subit, que le carbone des floss caverneux est combiné avec toute la masse du fer **. Ces floss contiennent au reste moins de carbone que les floss durs, et ceux-ci moins que les floss lamelleux.

44. Dans la fonte grise, la couleur foncée paraît annoncer une plus grande quantité de carbone; mais la couleur seule n'en est pas un indice certain, puisqu'on trouve des fontes grises noirâtres qui ne contiennent qu'une très-petite dose de ce combustible. Le fer est pour l'ordinaire d'autant plus riche en carbone, que sa couleur est moins mélangée d'une

---

* Les *floss* sont des plaques de fonte destinées à l'affinage pour fer et pour acier. On les appelle *floss lamelleux*, lorsque la fonte est blanche lamelleuse ; *floss* durs, lorsqu'elle est mêlée ou devenue blanche par un refroidissement subit, puisqu'elle s'affine moins facilement que les *floss tendres* ou caverneux qu'on obtient par une surcharge de minérais. Le T.

** Il est pourtant assez probable qu'on ne changerait pas les floss caverneux en fonte grise, lors même que la congélation et le refroidissement seraient retardés des journées entières. Ce n'est donc pas le refroidissement instantanné seul qui blanchit cette fonte.
Le Tr.

nuance bleuâtre. Un grain qui devient plus fin, dont la couleur noire diminue, n'indique pas toujours une augmentation de carbone combiné ni une diminution de carbone libre.

Il est encore plus difficile de juger par la cassure, de la quantité de carbone contenue dans la fonte blanche. Celle qui provient du refroidissement subit de la fonte grise, dont la richesse en carbone est très-variable, peut ressembler parfaitement à la fonte blanche lamelleuse, qui contient le maximum de carbone. Il est possible que, lorsque la fonte grise refroidie subitement devient blanche et lamelleuse, elle forme un mélange d'un fer cru dont la formule est F e^2 C, et d'une autre fonte blanche dont la composition est indéfinie. Mais il est probable qu'on obtient le plus souvent un composé variable dont la dose de carbone ne suffit pas pour constituer le fer à l'état de F e^2 C *.

45. La fonte grise se forme dans le cas seulement où le dosage du minérai, relativement au combustible, est très-petit, ou, pour mieux dire, dans le cas où l'on pourrait augmenter la charge de minérai sans qu'il en résultât aucun inconvénient pour l'allure du fourneau. C'est d'après ce fait d'expérience, et puisque la fonte grise se change difficilement en fer ductile, que tous les chimistes et tous les métallurgistes l'ont toujours regardée comme la plus riche en carbone : leur opinion était tellement enracinée, qu'ils n'ont jamais pu même soupçonner le contraire. L'espèce de contradiction qui paraît naître de la petite quantité de carbone contenue dans la fonte grise, et des conditions qui président à sa formation et à la

* Voyez les pages 486 et 487. Le T.

difficulté qu'on éprouve à l'affiner, sera très-facile à concilier, et pourra devenir l'objet d'un nouveau mémoire *.

Il faut espérer que ces recherches ne seront pas sans utilité pour les maîtres de forges, et qu'elles conduiront bientôt à des améliorations essentielles réclamées dans la pratique de la métallurgie du fer.

---

* Si ce mémoire promis par M. Karsten, paraissait avant que l'impression de notre traduction fût entièrement achevée, nous nous empresserions de le traduire et de l'annexer au 2e. volume.

Le T.

FIN DU MÉMOIRE.

TABLE

Des Ouvrages et des Auteurs cités par M. KARSTEN, *dans le Manuel de la métallurgie du fer* *.

---

§. 41. A M. HÉRON de VILLEFOSSE, de la richesse minérale. Considérations sur les mines, usines et salines des différens états, etc., etc., tome I. Division économique. Paris, 1810.

46. RINMAN, Histoire du fer, traduit du suédois en allemand, par Karsten, tome I, p. 488, 646, 653; tome II, p. 517, 684.—J. G. STUNKEL, sur l'influence du manganèse dans la préparation du fer en grand. *Neues Bergmœnnisches, Journal,* tome III, p. 443 et suiv.

47. RINMAN, tome I, p. 17 et suiv. Mémoire sur le polissage du fer et de l'acier, traduit du suédois en allemand, par Grœning. Flensbourg, 1787. Procédé des anglais pour polir l'acier et en augmenter l'éclat, *Schrebers Sammlungen,* tome X, p. 237.

49. RINMAN, tome I, p. 493.

50. RINMAN, tome I, p. 129.

55. RINMAN, tome I, p. 106.

56. GUYTON MORVEAU, Maret et Durande, Elémens de Chimie.

---

* Nous avons cru devoir rejeter à la fin de chaque volume les citations qui, dans l'ouvrage original, sont intercalées dans le texte, d'autant plus qu'elles sont très-étendues, qu'elles remplissent des pages entières, et qu'elles se rapportent le plus souvent à un grand nombre de paragraphes. Nous avons toujours renvoyé aux premières sources pour les citations des auteurs français, dont les écrits ont été traduits et insérés dans les journaux allemands cités par M. Karsten. Le T.

61. SCHWEIGGER's, *Neues Journal f. Chemie, und Phys.*, 1812, tome V, p. 441 et suiv.

63. PÉTRI MUSCHENBROEK, *Introduct. ad cohœrentiam corporum firmorum*, Dissert. phys. expériment. et géométr., 1729, p. 421; ou bien dans son *Introductio ad Philosophiam naturalem*, 1762, tome I, p. 417. — SICKINGEN, *Versuche über die Platina*, 1782, p. 114. — GUYTON MORVEAU, Annales de Chimie, tome LXXI, p. 189 à 199.

64. MUSCHENBROEK, dans l'ouvrage précédemment cité.

65. TEXIER de NORBECK, Recherches sur l'artillerie, tome II, p. 391.

66. MONGE, Description de l'art de fabriquer les canons, p. 18. — GAZERAN, Annales de Chimie, t. VII, p. 97.

70. RINMAN, tome I, p. 636 et suiv.

73. TORELLI, Journal des Mines, tome XIII, p. 355.

75. RINMAN, tome I, p. 154 à 215.

79. RINMAN, tome I, p. 269 et suiv.

81. *Id.* *Id.* 383 et suiv.

82. HÆLLSTRŒM, sur la dilatation du fer. Gilbert's *neue Annalen. der Physik.*, tome VI, p. 52. — FISCHER, *physikalisches Wœrterbuch*, tome IV, p. 58.

83. DALTON's, *new system of chemical phylosophy*. DAVY, *éléments of chemical phylosophy*.

84. MUSCHENBROEK, *introd. ad ph. nat.*, tome II. Rinman, tome II, p. 718.

86. DAVY, sur la cause du changement de couleur qu'éprouve la surface de l'acier soumis à la chaleur, *Schweigger's neues Journal. f. Chemie u. Phys.*, tome XI, p. 47.

88. RINMAN, tome I, p. 260, et suiv. — Procédé pour bleuir le fer et l'acier polis, Annales des arts et manufactures, tome XXII, p. 292.

89. RINMAN, tome I, p. 238 et suiv.; tome II, p. 725.

91. Rinman, tome I, p. 273 et suiv.

94. *Id.* tome II, p. 719.

98. *Id.* tome I, p. 276 à 306.

99. *Id.* tome I, p. 307 à 337. — Kastner's, *Deutscher Gewerbsfreund*, tome I, p. 301.

100. Rinman, tome I, p. 312 et suiv.

104. Tiemann, effet du charbon sur le fer sous le rapport de la fabrication de l'acier. *v. Crell's chem. Annalen.* pour 1803, tome I, p. 235, 240, 293, 297; ou Gehlen's, *neues allgemeines Journal f. Chemie*, tome III, p. 640 à 669.

105. Rinman, tome II, 593 et suiv.

106. M. Kenzie Nicholson's, *Jour. of Chem.*, t. IV, p. 109. — Collet-Descotils, sur la conversion du fer en acier, dans des creusets fermés sans contact d'aucune substance contenant du carbone, annoncée par Mushet, et sur la facile fusion du fer, Journal des Mines, nº. 77, tome XIII, p. 421 à 423.

107. Rinman, tome II, p. 519.

111. *Id.* tome II, p. 625 à 639.

114. *Id.* tome I, page 229 et suiv.

116. *Id.* tome II, p. 689 et suiv.

117. *Id.* tome II, p. 555, 582. 73 — 736.

118. Notice sur un fait observé à la fonderie de Bourth, département de l'Eure, Journal des Mines, nº. 6, p. 38 à 40.

122. Rinman. Voyez la citation du §. 117. Kastner's, *deutscher Gewerbsfreund*, tome I, p. 303. — Réaumur, nouvel art d'adoucir le fer fondu et faire des ouvrages de fer fondu, aussi fins que de fer forgé. Paris, 1722.

129. Proust, mémoire lu à l'institut en l'an 5. — Thénard, considérations sur l'oxidation des métaux en général, et en particulier sur l'oxidation du fer. Annales de chimie, tome LVI, p. 59. — Berthollet, sur les degrés d'oxidation des métaux, statique chimique, tome II, p. 370. Le même, observations relatives à différens

mémoires de Proust. Journal de Physique, tome LX, p. 284, et tome LXI, p. 352 et suiv. et sur-tout page 356 à 360. — PROUST, sur les oxidations métalliques, Journal de Physique, 1804, tome LIX, p. 321. — DARSO, Recherches sur les oxidations du fer, Journal de Physique, 1806, tome LXIII, p. 291. — BUCHOLZ, sur la quantité d'oxigène contenue dans les oxides de fer, *Gehlen's, Journal,* tome III, p. 696 et suiv. — HASSENFRATZ, sur l'oxidation du fer, Annales de Chimie, tome LXVII, p. 309. — BUCHOLZ, sur la non existence de l'oxide blanc, *Gehlen's, Journal,* tome VII, p. 681 et suiv. Voyez aussi le Journal des Mines, nº. 131, tome XXII, p. 362. — BERZÉLIUS, Essais sur les proportions déterminées, dans lesquelles se trouvent réunis les élémens de la nature inorganique, Annales de Chimie, tome LXXVIII, p. 228. Voyez pour la suite de ce traité, les tomes 79, 80, 81, 82, etc. Le même, sur le magnétisme du fer oxidé, *Gilbert's, neue Annalen der Physik,* tome VIII, p. 231. — GAY LUSSAC, sur les oxides de fer. Annales de Chimie, tome LXXX, p. 165. — BERZÉLIUS, *Gilbert's neue Annalen,* tome II, p. 277 et suiv. —KASTNER's, *Einleitung in die neuere Chemie, Halle,* 1814, p. 321 et suiv.

130. SCHERER's, *Journal der Chemie,* tome V, p. 643; tome VIII, p. 323. — MACQUER, *Chemisches Wœrterbuch.* — RINMAN, tome II, p. 229 à 356.

131. LANDRIANI sur le bleu de Prusse, p. 42. — GIRTANER, *Crell's neuesten Entdeckungen der Chemie.* XI. — WESTRUMB, sur la solubilité du fer dans l'eau pure, dans ses *Kleine phys. Chem. Abhandlungen,* tome III, p. 249 et suiv.

132. BERZELIUS, dans le mémoire précité, Annales de Chimie, tome LXXVIII, p. 228.

135. RINMAN, tome I, p. 73 et suiv.; tome II, p. 342 et suiv.

136. RINMAN, tome I, p. 86 et suiv.

137. BERGMAN, *de analysi ferri Upsal, 1781,* et dans

ses *opusc. Phys. Chem.*, tome III, p. 1 et suiv. — Rinman, tome II, p. 282 et suiv., 754 et suiv. — Vandermonde, Berthollet et Monge, Mémoire sur les différens états métalliques du fer, Histoire de l'Académie royale des sciences, 1786. — De Morveau, Encyclopédie Méthodique, tome I, p. 420 à 451. Le même, sur la théorie de la conversion du fer en acier, Journal de Physique, tome XXIX, p. 125. — Résultats d'expériences sur les différens états du fer par Clouet, Journal des Mines, tome IX, n°. 49, p. 3 à 12. — Rapport de Guyton Morveau sur le mémoire de Clouet, Annales de Chimie, tome XXVIII, p. 19 à 39, et Journal des Mines, tome VIII, n°. 45, p. 703. — Mussin Puschkin, sur la conversion du fer en acier, *Scherer's chem. Journal*, tome II, p. 496. — Collet Descotils, sur la conversion du fer en acier, sans contact d'aucune substance contenant du carbone, Journal des Mines, tome XIII, p. 421 et suiv. — Annales des Arts, tome V, p. 25 à 36; tome XIII, p. 225 et suiv. — Procédé de Mushet, pour faire des aciers de toutes les qualités, Journal britannique, n°. 144, ou Annales de Chimie, tome XLI, p. 177. — Traité de Tiemann, cité précédemment (§. 104), tome V, p. 362 à 379. — Kenzie, *Scherer's chem. Journal.* Guyton Morveau, de la conversion du fer doux en acier fondu, par le diamant, Annales de Chimie, tome XXXI, p. 328.

138. Essais sur la plombagine, Schéele, 1779, traduit en allemand dans *Crell's neuesten Entdeckungen*, tome VII, p. 153. — Allen et Pepys, sur la quantité de carbone contenue dans l'acide carbonique, phil. trans., 1807, Journal des Mines, tome XXIII, p. 33. — Davy, Recherches sur l'état du carbone dans la plombagine, le charbon et le diamant, phil. trans., 1814. — Analyse du graphite d'Angleterre et d'Espagne par Schrader, *magazin der Gesellsch, naturf Freunde, à Berlin*, 1810, p. 205. — Kastner, Observations sur le graphite, *deutscher Gewerbsfruend*, cahier 1, p. 78 à 84.

139. Rinman, tome II, p. 759. — Mushet, *Tilloch's, Philosoph. Magaz*, tome XIII, p. 142 et suiv.

149. Gueniveau, sur la désulfuration des métaux. Journal des Mines, tome XXI, p. 5 à 26. — Proust, sur quelques sulfures métalliques, Journ. de phys., tome LIII, p. 89. — Hatchett *Gehlen's, neues Jour. f. Chemie*, tome VI, p. 320, *Phil. trans.*, 1804. — Berthollet, Elémens de statique chimique, tome II, p. 433 et suiv. Le même, Journal de Physique, tome LX, p. 347 et suiv. — Bucholz et Gehlen, sur le fer sulfuré. *Gehlen's, Journal f. Chimie und Physik.*, tome IV, p. 291; tome V, p. 621 et suiv. — Berzelius, Essai sur les proportions des élémens du règne inorganique, Fer et Soufre, Annales de Chimie, tome LXXVIII, p. 125; *Gilbert's, Annalen der Physik.* tome XXXVII. — Rinman, tome II, page 502. — Stromeyer, sur la quantité de soufre contenue dans la pyrite magnétique, *Gilbert's, neue Annalen der Physik*, tome XVII, p. 90 et suiv.; Analyse de deux pyrites magnétiques, et recherches sur la pyrite magnétique artificielle, — *Ibid.*, tome XVIII, p. 183 à 192. Observations de M. Berzelius sur les données de M. Stromeyer, *ib.*, p. 209.

150. Schluter, p. 202 et suiv. — Lampadius, Manuel de la minéralurgie, tome III, p. 252 et suiv.

154. Extrait d'un second mémoire sur le phosphore, Pelletier, dans les observations sur la Phys., t. XXXIV, p. 193 et suiv.

156. Bergman, *de causâ fragilitatis ferri frigidi Opuscl phys. chem.*, tome III, p. 109; et *de analysi ferri frigidi.* Ib., p. 98. — Meyer, *Berliner Gesellschaft. naturf. Freunde*, tome II, p. 334; tome III, p. 380; supplément dans *v Crell's, chem. Annalen. f.* 1784, tome I, p. 195; et 1786, tome II, p. 300. — Klaproth, sur la sidérite, *ib.*, 390. — Décomposition de la sidérite par Schéele, *ib.* pour 1785, tome II, p. 387. — Vauquelin, Journal des Mines, tome XX, n°. 119, p. 389 à 400.

157. Essais de Schéele sur la plombagine, *v Crell's*

neuesten Entdekungen, tome VII, p. 153. — BERZELIUS et MARCET, sur l'alcool de soufre ou sulfure de carbone, Phyl. trans. 1813, ou Annales de Chimie, tome LXXXIX, p. 67. — CLUZEL, sur la nature de la liqueur obtenue par l'action réciproque du soufre et du charbon, Annales de Chimie, tome LXXXIV, p. 72. — Rappport sur le mémoire de Cluzel par BERTHOLLET, THÉNARD et VAUQUELIN, Annales de Chimie, tome LXXXIII, p. 252.

164. Décomposition de la silice par BERZELIUS, *Gilbert's, neue Annalen. der Physik*, tome VI, p. 92.

167. VAUQUELIN, mémoire lu à l'institut le 22 septembre 1806, voyez le Journal des Mines, tome XX, p. 391, 392 et suiv.

174. RINMAN, tome II, p. 360 à 363, 442. — DOEBEREINER, sur la combinaison du carbonate de fer avec les carbonates alkalins, *Schweiggers neues Journal f. Chemie und Physik*, tome IX, p. 1 à 8.

175. MONNET, traité de la vitriolisation et alumination. 1769. — BUCHOLZ, de l'action de l'acide sulfurique sur le peroxide de fer, *Gehlen's Journal f. Chemie und Physik*, tome III, p. 721 et suiv.

178. BERTHOLLET, Annales de Chimie, tome II, p. 58. — FOURCROY, système de Chimie, tome VI, p. 200. — VAUQUELIN, Analyse de quatre échantillons d'acier, Journal des Mines, tome XXV, p. 1 et suiv.

179. BUCHOLZ, essais sur la dissolution du fer, et de ses oxides dans l'acide nitrique, *Gehlen's Journal f. Chemie und Physik*, tome III, p. 715.

180. H. DAVY, *Schweigger's, neues Journal f. Chemie und Phys.*, tome III, p. 233, 235, 237. Le même sur la combinaison du chlore avec l'oxigène, *ib.*, p. 26. — J. DAVY, sur la combinaison du chlore avec les métaux, *Phil. Trans.* pour 1812.

182. CHENEVIX, décomposition de quelques arseniates de cuivre et de fer, Annales de Chimie, tome XLV, p. 44, *Phil. Trans.* 1801, p. 190, *ib.*, p. 220.

185. Sur la préparation de l'acetate de fer employé comme mordant dans la teinture et dans les fabriques de toile peinte, Annales des Arts, tome XI, p. 237 à 244.

187. Davy, Mémoire sur l'Iode traduit par M. de la Rive, Annales de Chimie, tome XCII, p. 89. — Colin, Annales de Chimie, tome XCI, p. 252. — Gay-Lussac, Mémoire sur l'Iode, Annales de Chimie, tome XCI, p. 5.

188. Berthollet, sur l'hydrogène sulfuré, Annales de Chimie, XXV, p. 233. — Vauquelin, expériences relatives à l'action de l'hydrogène sulfuré sur le fer, Annales de Chimie, tome XXXVII, p. 191.

189. Schéele, sur la matière colorante du bleu de Prusse, Transactions de Stockholm, pour 1782 et 1783. — Proust, sur le prussiate de fer, Annales de Chimie, tome LX, p. 185. — Weber, *Bekannte und unbekannte Fabriken, und Künste.* — Ittner *versuche uber die Blausaure.* — Gadolin, sur les essais des minérais de fer par la voie humide. — Haenle, *Chemisch techn. Abhandl*, tome II; *Frankf. sur le Mein.* 1810.

190. Résumé de toutes les recherches faites sur la nature du tanin, de l'acide gallique et de ses composés. *Scherer's Journal der Chemie*, tome VII, p. 472, 487, 599.

191. Rinman, tome II, p. 427 à 441.

192. Rinman, tome I, p. 60 à 66.

193. Hassenfratz, Journal des Mines, tome XXIII, p. 275.

195. Berzelius, sur la décomposition de la silice, par les moyens chimiques ordinaires. *Gilbert's, Annalen der Physick neue Folge*, tome VI, p. 89. — Stromeyer, sur les différentes combinaisons du fer avec le silicium, tome VII, p. 335 et suiv.; tome VIII, p. 233, 321 à 330. Voyez le Journal de Physique 1812, tome LXXIV, p. 129.

200. Rinman, tome II, p. 5 à 59. — Hatchett, sur les alliages d'or, p. 37.

204. Rinman, tome II, p. 39 à 54, *ib.* 133 à 136, sur la combinaison du fer avec le mercure, *Kastner's deutscher Geswerbsfreund*, cahier 1, p. 24.

205. Rinman, tome II, p. 70 et suiv. — Levasseur, Annales de chimie, tome XLII, p. 183. — Hassenfratz, Sidérotechnie, tome III, p. 163.

207. Rinman, tome II, p. 126 et suiv. — Guyton Morveau, Annales de Chimie, tome XLIII, p. 47.

208. Rinman, tome I, p. 497. — Hassenfratz, Sidérothechnie, tome III, p. 162.

209. Rinman, tome I, p. 496; tome II, p. 103 et suiv. — Bergman, *de ferro et stanna igne commixtis. Opusc. phys. et chem.* tome II, p. 471. — Hassenfratz, Sidérotechnie, tome III, p. 163.

210. Rinman, tome II, p. 120 et suiv. 780 et suiv.

211. Rinman, tome II, p. 205 et suiv. — Gmelin, sur la combinaison du zinc avec le fer, *Crell's Annalen pour* 1785, tome I, p. 195 à 228 pour 1788, tome I, p. 845 à 493.

212 Selb, sur le zinc trouvé dans un haut fourneau, *Gehlen's, journal f. Chemie und Physik,* tome VIII, p. 187 et suiv. — Bouesnel, mémoire sur un produit métallurgique qui se forme dans quelques hauts fourneaux, Journal des mines, tome XXIX, n°. 169, p. 35 à 50 et 79.

214. Rinman, tome I, p. 498. — Hassenfratz, Sidérotechnie, tome III, p. 163.

216 et 217. Rinman, tome I, p. 497 et suiv.; et tome II, p. 193 et suiv. — Hassenfratz, tome III, p. 162.

218 et 219. Rinman, tome I, p. 499; tome II, p. 180 et suiv. — Bergman, *Opusc,* tome II, p. 281.

220. Bergman, *Opusc,* tome II, p. 181. — Hassenfratz, Siderotechnie, tome III, p. 162, 1 et suiv.

222. Rinman, tome I, p. 499; tome II, p. 136 et suiv. — Stunkel, sur la fonte manganésifère, *neues bergmaennisches Journal,* tome III, p. 455 et suiv., et Journal des Mines, tome XVI, n°. 93, p. 173 et suiv.

236. Berzelius et Marcet, *Gilbert's neue Annalen der Physik,* tome XVIII, p. 144, 148 et suiv.; Phil. Trans., 1813, p. 175.

240. Rinman, tome II, p. 235 et suiv., 282 et suiv., 300 et suiv., 316 et suiv., 330 et suiv. — Kastner's, *deutscher Gewerbsfreund*, p. 62.

241. Achard, Mémoires de l'Académie de Berlin, année 1799, 1780 et 1784. — Lampadius, *Allgemeine Hüttenkunde*, tome I, p. 130. Kirwan, *Eléments of Minéralogy*, 2e. édition, tome I.

244. Black's, *lecture*, etc., tome III.

254. Poetsch, *Kurze Darstellung der Geschichte über das Vorkommen des gediegenen Eisens sowohl des mineralischen als auch des problematisch-metéorischen. Dresden*, 1804. — Chladni, Journal des Mines, tome XV, no. 88, p. 86 et suiv., no. 90; p. 446 et suiv., catalogue par ordre chronologique des météores, à la suite desquels des pierres ou des masses de fer sont tombées, tome XXV, no. 145, p. 73 et suiv.; supplément, tome XXVI, no. 151, p. 79 et suiv. — Klaproth, *Beitræge zur chemischen kenntniss der minéral kœrper. Fer natif*, tome IV. — Godon, Saint Memin, analyse du fer natif de la Bouiche, Annales des Mines, tome XIX, p. 430; ou Journal de Physique pour 1805, tome LX, p. 340. Sur différentes espèces de fer regardées comme natives, Journal des Mines, tome II, no. 63, p. 212; tome XIII, no. 74, p. 81 et suiv.; tome XV, p. 286 et 446.

256. Schlutter, p. 574. — Lampadius, *allgemeine Huttenkunde*, tome II, p. 297.

261. Lampadius, *Handbuch zur chemischen*, *Analyse der Minéralkœper*, p. 310. — Proust, sur les sulfures métalliques, Journal de Physique, tome LV, p. 89. — Stromeyer, *Gœttingen*, *gelechrte Anzeige*, p. 47 pour 1814.

263. Berzelius, *flœrsœk att genom Anwœndandet af den élektro kemiska Theorien och de kemiska Proportionerna grandlœgga ett rentt vetenskapligt System fœr mineralogien. Stockholm*, 1814.

267. Analyses de Bucholz, *Gehlen's Journal f. Chemie*, tome III, p. 104 et suiv.; tome IV, p. 155 et suiv.

270. Klaproth, Mémoires de Chimie, traduit de l'allemand par Tassaert, tome II, p. 10.

275. Klaproth, Mémoires de Chimie, tome IV. — Berthier, Analyse d'un fer phosphaté bleu; Journal des Mines, tome XXVIII, nº. 163, p. 73 à 82.

277. Klaproth, Mémoires de Chimie, etc. tome IV. — Vauquelin, Analyses de quelques mines de fer de la Bourgogne et de la Franche-Comté, Journal des Mines, tome XX, nº. 119. p. 381 et suiv.

282. Bucholz, *Gehlen's neues Journal der Chemie*, tome I, p. 231 et 248. — Klaproth, Mémoires de Chimie, tome IV, p. 107 à 115. — Collet Descotils, recherches sur le fer spathique. — Berthier, analyse d'un fer carbonaté fibreux pseudomorphique, Journal des Mines, tome XXVII, nº. 162, p. 477 à 480. — Collet Descotils, notice sur une des espèces de minérais, réunies par plusieurs minéralurgistes, sous le nom de fer argileux, tome XXXII, nº. 191, p. 361 à 373.

291. Proust, Journal de Phys., tome LXIII, p. 467. — Hausmann, sur les ocres jaunes et ferreux, et sur les divers produits formés dans la nature par l'hydrate de fer, *Gilbert's neue Annalen der Physik*, tome VIII, p. 1 à 40. — D'Aubuisson, du fer hydraté considéré comme une espèce minéralogique, Journal des mines, tome XXVIII, nº. 168, p. 443 à 467. Observations de Hausmann, *Gilbert's Annalen*, p. 41 à 64.

298. Duhamel, Observation sur le traitement des minérais de fer à la fonte, Mémoire de l'Académie, 1786, p. 456.

307. Pantz et Atzl, *Versuch einer Beschreibung der vorzüglichsten Berg und Huttenwerke des Herzogthums Steyermark*. Vienne, 1814, p. 105 à 107.

311. Garney, sur la construction et le travail des hauts fourneaux, traduit du Suédois en allemand par *Blumhof, Freiberg* 1801, tome II, p. 100. — Duhamel, dans le mémoire cité au paragraphe 298.

327. ILSEMANN, *von Verbesserung der Eisen-Proben. Crell's neuste chemische Entdeckungen*, tome VI, p. 31 à 46. — Le même dans *Crell's Annalen*, pour 1787, tome II, p. 505. — GADOLIN, *chemisk Afhandling, on flussers wærkan vid jærnmalmers proberande genom smælting Abo*, 1794, *id.*, Annales de *Crell's*, pour 1796, tome II, p. 280 à 288, 304 à 325, 386 à 393. Le même dans le même journal, pour 1789, tome II, p. 325 à 351 et pour 1797, tome II, p. 221. — KIRWAN, sur les essais par la voie sèche, dans le même journal, pour 1797, tome II, p. 212 à 224, ou Système des connaissances chimiques, vol. VI. — Sur l'art d'essayer les minérais de fer avec la description d'un fourneau d'essai et d'un indicateur pyrométrique, Annales des arts, tome II, p. 256 à 278; tome III, p. 19 à 30, 120 à 133. — DOBSON *ib.*, tome XLII, p. 136 et suiv. Voyez aussi sur les essais des minérais de fer : STUNKEL's *Beschreibung der Hærzer Eisenhütten*, p. 213. — GEHLEN's, *Journal f. Physik und Chemie*, tome IV, p. 158 et suiv.

340. GARNEY, sur le grillage et le bocardage des minérais de fer dans l'ouvrage cité précédemment. — Voyage métallurgique de Jars, fourneaux de grillage, tome I, p. 33 et 165. — Hermann, sur le grillage, le bocardage et le lavage des minérais de fer. *Crell's Breitræge zu den chemischen Annalen*, tome V, p. 296 et suiv. — WALLERIUS, *metallurgische Abhandlung über das ræsten des Eisenerzes.* SCHREBER's, *neue Sammlungen*, tome VI, p. 325 à 344. — Sur le grillage des minérais de fer. Annales des Arts, tome XIII, p. 113 à 130.

341. MARCHER, *Beitræge zur Eisenhüttenkunde*, tome I, v. V, p. 156 à 175.

363. RUMFORT, *experimental researches*, etc. Recherches expérimentales sur le bois et le charbon, lues à la première classe de l'Institut, le 28 septembre et le 5 octobre 1812; Bibliothèque britannique, Sciences et Arts, tome LI, p. 220 et 299; et tome LII, p. 35, *Schweigger's neues Journal f. Chemie und Physik.*, tome VIII, p. 160 à 164.

365. *Teoretisch, praktisches Handbuch der Forstbotanik und Forsttechnologie de M. B.* Borkhausen *Giessen und Darmstadt*, 1800.

368. Rumford, recherches sur la construction intérieure et la pesanteur spécifique du bois, etc., etc., dans le mémoire cité au paragraphe 363, *Schweigger's neues Journal f. Chemie und Physik.* tome VIII, p. 165 à 202. — Hartig, *Versuche über das Verhæltniss der Brennbarkeit der meisten deutschen Waldbaumhœlzer*, 1798. — Wildenhain, *Leipziger Intell. Blatt f.* 1773, n°. 33, p. 350 et suiv.

371. Proust, sur les quantités de charbon contenues dans les diverses espèces de bois, *Scherer's allgemeines Journal der Chemie*, tome VII, p. 707 et suiv. — Mushet, Annales des Arts, tome IX, p. 32. — Hyelm, *Crell's chemische Annalen pour* 1784, tome I, p. 432 et suiv. Le même sur le retrait de plusieurs espèces de bois pendant la carbonisation, *Crell's neuste chemische Entdeckungen* tome VIII, p. 125 à 137. — Scopoli, Mémoire sur la carbonisation, *in den Abhandlungen und Beobachtungen der œkon. Gesellschaft zu Bern* pour 1771, tome II, p. 1 à 30. — Allen et Pepys, *Gehlen's Journal. f. Chemie Physik. und Mineralogie*, tome V, p. 669.

373. Pissis, *Scherer's allgemeines Journal der Chemie*, tome VIII, p. 280 et suiv. — Kirwan, Mémoires *Phys. Chem.* ou Annales des Arts, tome IX, p. 29. — Mushet, Annales des Arts, tome IV, p. 32.

383. Funk, *Beschreibung wie Theer und Kohlenœfen einzurichten*, traduit du suédois en allemand, *Schreber's neue Sammlungen*, tome IV, p. 765 à 819. — Mussin Puschkin, sur la carbonisation du bois dans des fourneaux, *Crell's Annalen* pour 1797, tome II, p. 481 à 483. — Carbonisation du bois dans des fourneaux, Journal des Mines, nos. 63, 65 et 81. — Sur l'avantage de la carbonisation du bois dans des meules, *Jordan und Hasse, Magazin f. Eisenberg-und Hüttenkunde*, tome I, 2e. cahier, p. 172

à 185. — Sur l'importance de la carbonisation du bois dans les fourneaux pour l'économie forestière, *Abhandlung über wichtige Gegenstænde des Forstwesens*, 1er. cahier, Marbourg, 1806, p. 15 à 111. — WAECHTER, notice sur un essai de carbonisation dans des fours, *Neues Journal f. Fabriken, Manufacturen, Handlung Kunst und Mode. Leipzig, Mars*, 1810, tome III, p. 193 à 218.

388. Nouveau procédé pour la carbonisation du bois; dans les Annales des arts et manufactures, tome V, p. 249 à 266.

393. Sur la manière la plus avantageuse de construire les meules de bois qu'on veut carboniser; *Stahl's Forst Magazin*, tome X, p. 162 à 169.

394. *Leipziger Intelligentz Blatt*, 1755, no. 12. — J. BECKMANN, quelques observations sur la carbonisation du bois; *Bemerkungen der kurpfælzisch. physikal-œkonomische Gesellschaft*, pour 1774, p. 299 à 317. — PALMSTIERNA, *Bemerkungen. über die Kohlenmeiler; Crell's neues chemisches Archiv*, tome VIII, p. 267. — *Vermischte Abhandlung der Wesphœlischen œkonomischen Sociétæt zu Hamm*, tome I, p. 54. — *Oekonom. Nachr. d. schles. patriot. Gesellsch*, pour 1775, tome III, p. 187; *Hessen-darmstadter Magazin*, pour 1775, p. 139 à 145.

395. C. G. STUNKEL, évaluation du volume et de la surface des meules de bois; *Magazin f. Eisenberg und Hüttenkunde*, tome I, 2e. cahier, 87 à 171.

397. *Beschreibung der italienischen Kohlungs méthode* (par ordre du gouvernement autrichien), faite par M. C. V. HERBURGER, à Hiflau. Vienne, 1812.

411. HASSENFRATZ, *Siderotechnie*, tome II, p. 17 à 20. On peut consulter encore sur la carbonisation du bois les ouvrages suivans: *Systematische Abhandlung von den Kohlen*, 1776. — GERHARD, traducteur du voyage métallurgique de Jars, dans les notes ajoutées au texte, tome II, p. 634 à 686 de la traduction. — KUNST *des Kohlenbrennens*, par HALLÉ., *Werkstætte der heutigen*

künste, tome 3. — DUHAMEL DU MONCEAU, l'art du charbonnier. — CRAMER'S *Anleitung zur forstwissenschaft*, 1766. — BURGDORF, *vollstændige Geschichte der vorzüglichsten Holzarten*, tome I, p. 416 à 435. — CELSIUS, *de arte carbonaria in patria*; *Upsal*, 1741. — MAGNI-WALNERI, *dissertationes de arte carbonaria in patria Upsal*, 1740. — GLEDITSCH, *Forstwissenschaft*, 1775, tome II, p. 157 à 168. — SCOPOLI, Mémoire sur la carbonisation, *Bern*, *1771*. — ZANTHIER, sur la carbonisation, *Gatterer's neues technologisches Magazin*, tome I, p. 1. et suiv. — LEONHARDI'S *Magazin f. das Jagd und Forstwesen*, septième livraison. — *Oekonomische Nachrichten der schlesischen patriotischen Gesellschaft* pour 1774, tome II, p. 223. — KLIPSTEIN, *mineral. Briefwechsel.* tome II, p. 55 à 93. — RETTBERG, *hannœvrisches Magazin* 1774, p. 66. — TOLLN'S *und* GÆRTNER'S *Eisenhütten Magazin.* — TIEMANN'S *und* WÆHLER'S *Eisenhütten kunde.* — V. USLAR, sur la carbonisation du bois; *forstwirthschaftliche Bemerkungen auf einer Reise, Brunswick 1792*. SPATH, *praktische Abhandlung über das verkohlen des Holzes, Nurenberg, 1800.*

413. J. C. G. VOIGT. *Geschichte der Steinkohlen, der Braunkohlen und des Torfes. Weimar,* 1802.

415. F. M. WAGNER, sur l'emploi et l'effet de la tourbe crue pour les feux de flamme, *Moll's Ephémériden der Berg und Hüttenkunde*, tome I, première et deuxième livraison, p. 47 à 49. Voyez aussi pour les expériences de Wagner, sur l'emploi de la tourbe crue ou carbonisée, le Journal des Mines, tome XIV et tome XV.

416. BUCHOLZ, recherches chimiques sur quatre espèces de tourbe, particulièrement sous le rapport de la quantité des parties combustibles qu'elles peuvent contenir. *Scherer's allgemeines Journal der Chemie*, tome VIII, p. 579 à 600.

417. Histoire d'un essai sur l'emploi du charbon de tourbe dans les usines à fer; *œconomische Nachrichten der patriotischen Gesellschaft in Schlesien, pour 1773*,

p. 232 et suiv. — CARTHEUSER, sur l'emploi des charbons de tourbe pour la fusion des minérais de fer; *Grundsætze der Bergpolizeiwissenschaft* 1776, p. 197 et suiv. — SAGE, comparaison entre l'effet du charbon de bois et celui du charbon de tourbe; *Crell's Annalen pour 1791*, tome II, p. 78 à 81. — RINMAN, sur l'emploi de la tourbe dans les feux de chaufferie, *ib. 1784*, tome I, p. 529 à 531. — WAGNER, sur l'emploi de la tourbe dans les hauts fourneaux; *Moll's. Jahrbücher der Berg und Huttenkunde*, tome IV, p. 262 à 378. Additions de M. de Moll, sur les essais qui ont été faits dans le Salburg. *ib* 379 à 402. — WAGNER, sur les essais faits par M. Lampadius, avec la tourbe crue; *Moll's Annalen der Berg und Hüttenkunde*, première et deuxième livraison, p. 123 à 137. — Résumé des essais sur l'emploi de la tourbe; *Moll's Annalen*, tome III, deuxième livraison, p. 260 et suiv. — WAGNER, sur l'emploi de la tourbe crue pour l'affinage immédiate des minérais; *Moll's éphémériden*, tome I, première et deuxième livraison, p. 16 à 50. Sur l'emploi de la tourbe crue dans le fourneau de Lichtmesberg, en Styrie; MARCHER's *Notizen und Bemerkungen über den Betrieb der Hohœfen und Rennfeuer*, quatrième cahier, p. 75 à 78.

419. Procédé pour obtenir de bon charbon avec la tourbe, *œkonomische Heften*, tome VIII, p. 37 à 40. — J. E. SIEHE, *über das verkohlen des Torfs*. Berlin. 1793. — BLAVIER, sur la carbonisation de la tourbe, Journal des mines, n°. 2, p. 2 à 64; le même, addition au procédé de carbonisation de la tourbe; Journal des mines, n°. 197, p. 373 à 379. — G. A. DATZEL, *über Torf, dessen Entstehung, Gewinnung und Nutzen. München*, 1795. Tous les essais qu'on a faits jusqu'ici sur l'emploi de la tourbe dans les usines à fer, se trouvent résumés avec beaucoup de détail dans l'ouvrage de M. MARCHER, qui a pour titre: *Beitræge zur Eisenhüttenkunde*, tome VI, p. 172 à 300.

424. Sur une espèce de houille connue sous le nom de houille incombustible, Annales des arts et manufactures,

tome XXVIII, page 246 à 258, ou dans le Journal des mines, nos. 81 et 125.

425. Kirwan, mémoires sur les matières premières employées dans la fabrication de la fonte, Annales des arts, tome IX, p. 113 et suivantes. — Lampadius, *chemische untersuchung verschiedener Steinkohlengattungen aus Schlesien, Sachsen und Bœhmen; Scherer's, Journal* tome V, p. 147 à 156. — Essais de Richter, *neue Gegenstænde der Chemie,* tome VI, p. 224. — Proust, faits pour servir à l'histoire des charbons de terre, Journal de Physique, tome LXIII, p. 320. — *Branthome et Hecht,* analyse des houilles de *Sundsweiler, Saarbruk,* etc. Journal des mines, tome XXVIII, no. 167, p. 363 à 378.

429. Voyage métallurgique de Jars, tome II.

431. Procédé pour la carbonisation de la houille en gros morceaux, Annales des arts et manufactures, tome XXIX, p. 41 à 43.

432. Nouvelle méthode de carboniser la houille; Annales des arts et manufactures, tome XIV, p. 34 à 39.

433. Description d'un fourneau pour réduire la houille menue en coke; Annales des arts et manufactures, tome XXIX, p. 43 à 45.

434. Description d'un four à carboniser le charbon de terre, et à le convertir en coke; Annales des arts et manufactures, tome VII, p. 284 à 292. — Procédé de Dundonald, pour retirer le goudron de la houille, *Scherer's allgmeines Journal der Chem.,* tome IX, p. 106. Voyage de Svedenstierna en Angleterre, traduit du suédois en allemand par Blumhof, 1811, p. 117.

436. Voyage de Svedenstierna, p. 67.

437. Ivernois, effet du blocus continental sur le commerce, les finances, le crédit et la prospérité des îles britanniques, 1809. On suppose que le gaz de 6 kil. de houille donne autant de lumière qu'une livre de suif. — Henry, essais sur les gaz qui se forment par la distillation du bois, de la tourbe, de la houille, de l'huile, de la cire, etc.,

sous le rapport de l'éclairage; Gilbert's, Annal. der Physik., tome XXII, p. 58 à 78. — KASTENER's, *Deutscher Gewerbsfreund*.

455. Mémoire sur les soufflets des forges à fer, qui a remporté le prix proposé par la société royale de Biscaye, établie à Bergara, en Espagne, par Grignon; mémoires de physique sur l'art de fabriquer le fer. Paris, 1755, p. 184 à 233.

468. *Schauplatz der künste und Handwerker*, publié par Justi, tome II, p. 95 et suiv. — LEWIS, *Zusammenhang der Küuste*, tome I, p. 417 à 512; tome II, p. 518 à 525. — LAPEYROUSE, mémoire sur les mines et les forges du comté de Foix. — MUTHUON, traité des forges dites catalanes, Turin, 1808, p. 39 à 44. — GRIGNON, mémoire sur les soufflets des forges à fer dans l'ouvrage cité précédemment, p. 192 et suiv. — BARTHÈS, expériences sur les trompes; mémoires des savans étrangers de l'académie des sciences, tome III, p. 378. — Mémoire sur les soufflets hydrauliques; addition au 3me. cahier de l'ouvrage de M. MARCHER, qui a pour titre *Notizen und Bemerkungen über den Betrieb der Hohœfen und Rennwerke Klagenfurth*, 1810; *Venturini*, théorie des trompes, *Gilbert's Annalen der Physik*, tome III, p. 130 à 142. — Beaunier et Gallois, expériences faites sur les trompes de la fonderie de Poullaouen, Journal des Mines, tome VI, n°. 91, p. 37. — Observations de Ritter sur l'action de la vapeur d'eau dans la machine de *Klipstein*. *Scherer's*, *Journal der Chemie*, tome I, p. 436.

470. REITEMEIER, *Geschichte des Bergbaues und Hüttenwesens bei den alten Vœlkern*, p. 78 et suiv., 123 et suiv.

479. Mémoire sur un nouveau soufflet de forge à trois vents; Annales des Arts et Manufactures, tome XXXIX, p. 295 à 301.

487. HAUSMANN's *Reise durch Scandinavien*, tome II, p. 208.

508. Description d'une machiue soufflante à cylindre

de bois; Annales des Arts et Manufactures, tome X, p. 26 à 36. — Hermann, sur les différentes espèces de soufflets; *Crell's, Beitrœge zu den chemischen Annalen*, tome V, p. 285. — Baillet, Description des soufflets cylindriques en fonte du pays de Namur; Journal des Mines, nº. 16, p. 9 à 16. — Baillet, Description de la machine soufflante du Creusot, p. 17 à 20. — Observations sur les soufflets cylindriques en fonte à piston, suivies de la comparaison de ces soufflets avec ceux de bois ordinaires, à liteaux et à charnières; et de la description des soufflets en bois à piston, construits à Guerigny, département de la Nièvre, nº. 38, p. 105 à 117. — Lefroy, Mémoire sur les machines à pilons, nº. 77, p. 363 à 378. Suite du mémoire, nº. 80, p. 106 à 123; nº. 82, p. 261 à 276; nº. 83, p. 351 à 371. — J. Baader, *Beschreibung und Theorie des englischen cylinder geblœses*. Munich, 1805.

511. J. Baader, *Beschreibung eines neu erfundenen Geblœses. Gœttingen, 1794.* — Observations sur la découverte d'un soufflet à eau, *Crell's Annalen* pour 1794, tome II, p. 332 à 346. *Moll's, Annalen der Berg und Hüttenkunde*, tome I, 3e. livraison, p. 30; et tome II, 2e. livraison, p. 350. — A. F. Ludicke, *Bermerkungen, über das hydrostatische cylindergeblœse des Hrn.* Baader, *Gilbert's, Annalen der Phys.*, tome I, p. 1 à 10. Sur la machine soufflante hydraulique de M. Baader, Journal des Mines, nº. 169, p. 51 à 54.

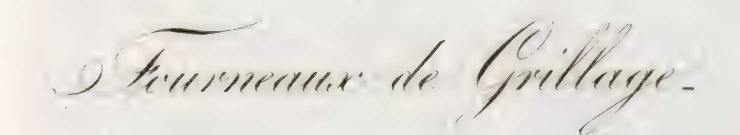
514. Roebuck, *Gilbert's Ann. d. Physik*, tome IX, p. 45.

525. Description d'une cave à air et à eau pour égaliser le courant d'air des machines soufflantes des hauts fourneaux, Annales des Arts, etc., tome III, p. 134 à 139. Mémoire sur les divers effets produits par la compression, la qualité et la vélocité de l'air, employé dans les machines soufflantes, et chassé à travers les hauts fourneaux, *ib.* IV, p. 118 à 128; 234 à 245; sur les voûtes ou réservoirs à air combinés avec les hauts fourneaux, et des-

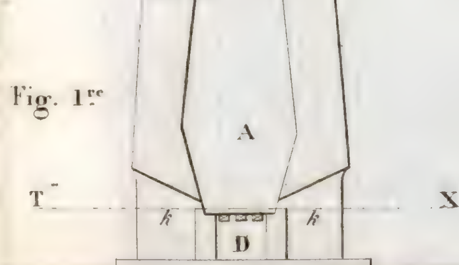
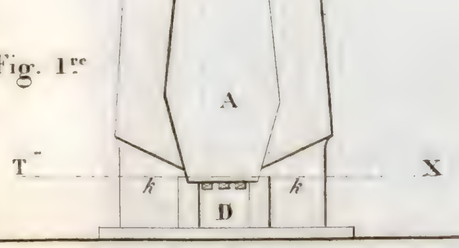
tinés à égaliser le courant d'air des machines soufflantes, *ib.* tome III, p. 31 à 50. — Roebuck, Description de quelques faits observés dans la cave à air des hauts fourneaux de Devon *Gilbert's, Annalen der Physik.*, t. IX, p. 45 à 60. — Baader, dans l'ouvrage précité, Annales des Arts et Manufactures, tome III, p. 31 et suiv.

539. Stunkel, observations sur l'estimation de la force motrice et sur la vîtesse du vent; Jordan's *und* Hasses *Magazin f. Eisenberg und Hüttenkunde*, 1re. année, 3e. livaison, p. 240 à 281. — Baader, dans l'ouvrage cité au paragraphe 511. — Roebuck, sur les ventimètres et sur le rapport de la vîtesse au volume de l'air, *Gilbert's Annalen der Physik*, tome IX, p. 53 à 58. — Banks, sur les ventimètres et sur l'écoulement de l'air renfermé dans des vases; *ib.*, tome XXII, p. 286 à 291. — Sur les machines soufflantes, avec la description des machines soufflantes hydrauliques, Annales des arts et manufactures, tome XV, p. 225 à 249. — G. G. Schmidt, sur la dilatation de l'air humide ou sec, *Gren's neues Journal der Physik*, tome IV, p. 320 à 355. — Gilbert, évaluation de la quantité d'air fournie par une machine soufflante, *Gilbert's Annalen der Phys.*, tome XXVIII, p. 388 à 396.

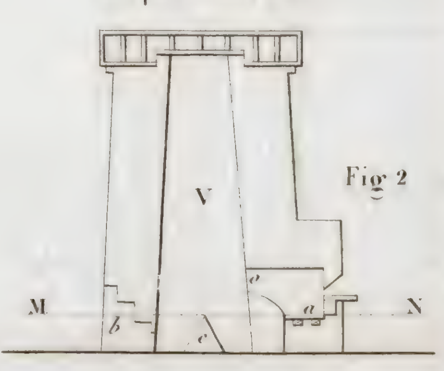
FIN DES CITATIONS D'AUTEURS.



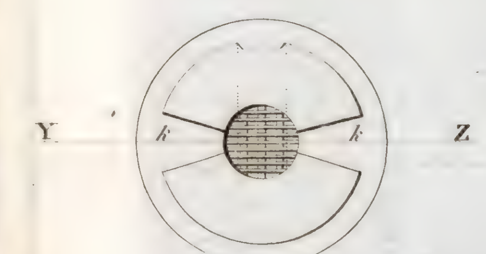
Coupe suivant Y Z.

Coupe suivant A B.



Plan suivant T Z.



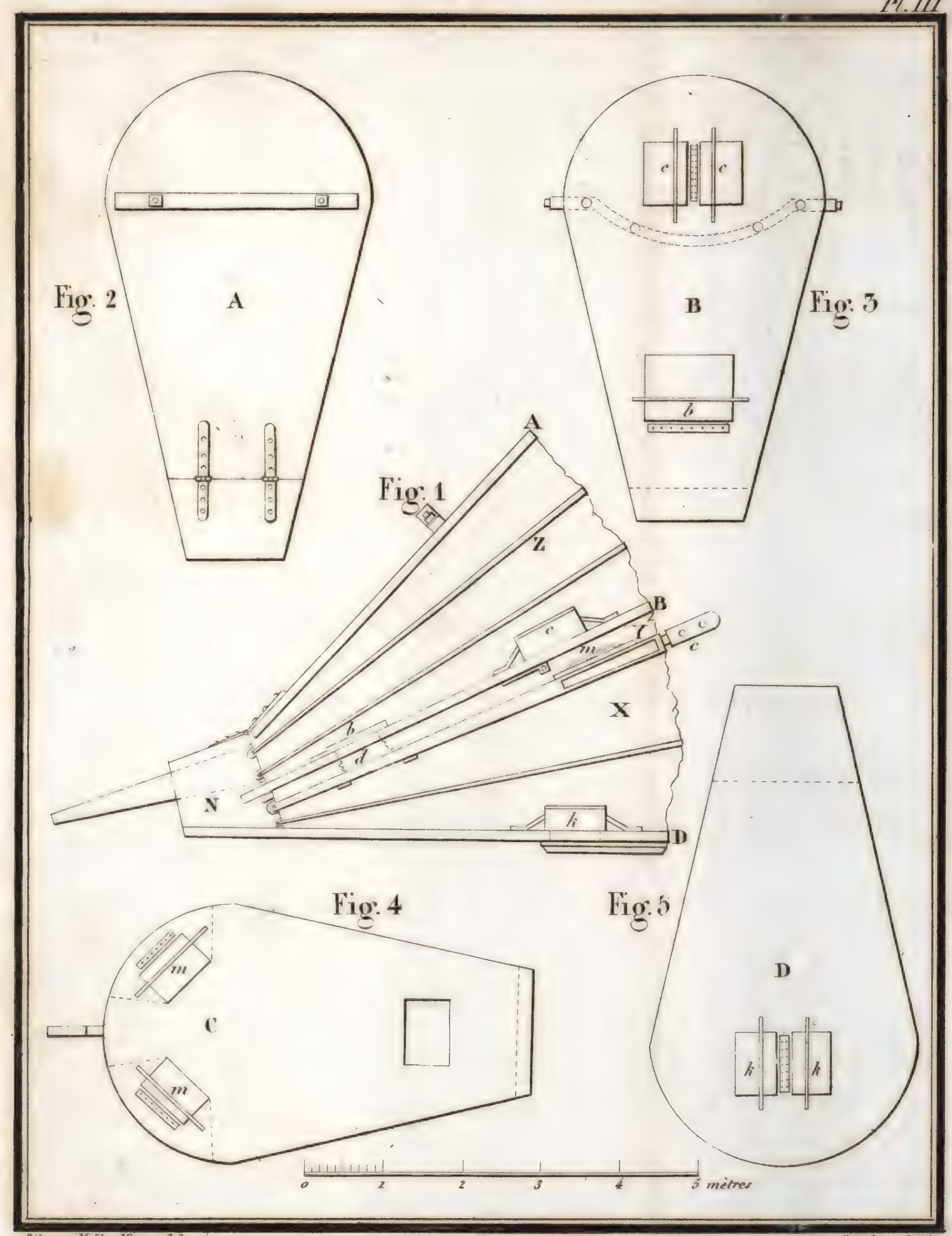
Plan suivant M N.



0 1 2 3 4 5 Mètres

Billange del. Dembour Sculp.

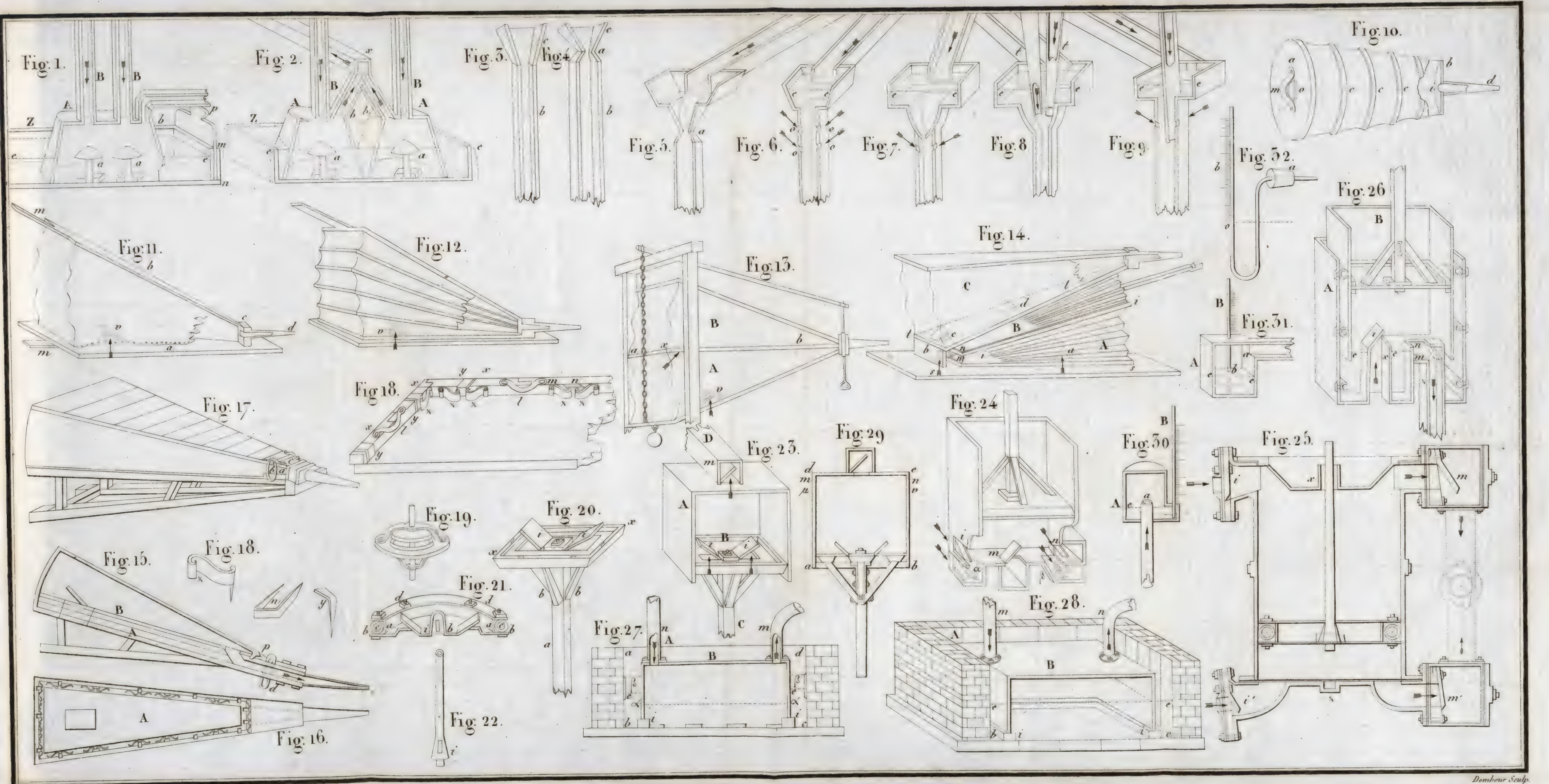




Pilange, Maître Mineur del.

Dembour Sculp





Bilange Maître Mineur del.

Dembour Sculp.

